UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

ESCUELA DE POSTGRADO

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LAS PLANTAS ADAPTADAS AL ENTORNO DEL RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA SANTA ROSA DE JANGAS

Tesis para optar el grado de Maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Gestión Ambiental

KARINA MARÍA TRUJILLO BLANCO

Asesor: **Dr. EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**

Huaraz – Perú
2013

Registro N°: TO463

JURADO EVALUADOR

Dr. Prudencio Celso Hidalgo Camarena Presidente

M.Sc. Eladio Guillermo Tuya Castillo Secretario

Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas Vocal

ASESOR

Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas

AGRADECIMIENTO

- A DIOS, nuestro creador, por darme la vida, por su oportuna y permanente presencia y ayudarme en todas las cosas que ya no dependen de mí.
- A mi alma mater, la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.
- Al Blgo. Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas, asesor de esta tesis, por su constante e invalorable orientación.
- Al Dr. Raúl Loayza Muro, por haberme brindado apoyo con los análisis físicos y químicos de metales pesados totales presentes en las muestras recolectadas.
- A los docentes de la Escuela de Post Grado, quienes supieron entregar sus conocimientos y plasmar una conducta responsable con el ambiente.

DEDICATORIA

- A mis padres, HONORATO y MARÍA, con mucho amor y cariño, en retribución a su apoyo constante y su comprensión, pues durante todos los días de mi vida me impulsan a seguir adelante, otorgándome la tranquilidad y fuerza necesaria para que este esfuerzo se vea plasmado en el progreso de mi carrera profesional.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
Resumen	xvii
Abstract	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1-3
Objetivos	4
Hipótesis	4
Variables	5
II. MARCO TEÓRICO	6- 34
2.1. Antecedentes	6- 14
2.2. Bases teóricas	14- 33
2.2.1 Aspectos generales de los relaves mineros	14
2.2.2. Fitorremediación	15
2.2.3. Rehabilitación de los relaves mineros a través de la fitorremediación	15
2.2.4. Mecanismos de fitorremediación	17
a) Fitoextracción	18
b) Rizofiltración	19
c) Fitoestabilización	19
d) Fitovolatilización	20
e) Fitodegradación /fitoestimulación	21
2.2.5. Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados	21
2.2.6. Proceso de acumulación de metales en las plantas	22

2.2.7. Valoración e índices de tolerancia a los metales 24

2.2.7.1. Índice de Bioconcentración (BF) 24

2.2.7.2. Factor de bioconcentración en la raíz de la planta 25

2.2.7.3. Shootaccumulation factor (SAF) 25

2.2.7.4. Factor de Transferencia (FT) 26

2.2.8. Flora nativa de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas potencial en programas de fitoestabilización y usos alternativos 26

2.2.9. Descripción de las especies vegetales seleccionadas 29

a. *Solanum hispidum* 29

b. *Schinus molle* 30

c. *Cortaderia rudiuscula* 32

2.3. Definición de términos 33

Relave minero 33

Metales pesados 33

Efectos de los metales pesados 33

Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados 34

Factor de traslocación (FT) 34

Factor de bioconcentración (FBC) 34

III. METODOLOGÍA 35- 43

3.1. Tipo y diseño de investigación 35

3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico 36

3.2.1. Descripción del área de estudio 36

3.2.2. Características técnicas del relave minero 37

3.2.3. Estudio en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 38

3.2.4. Población 38

3.2.5. Muestra 38

3.2.6. Unidad de Análisis 39

3.2.7. Muestreo 39

3.2.8. Transporte 40

3.2.9. Instrumentos de recolección de la información 42

3.3. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información 42

3.3.1 Determinación de metales pesados totales en suelo 42

3.3.2 Determinación de metales pesados totales en plantas 43.

IV. RESULTADOS 44- 83

4.1. La concentración de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 45

4.2. La concentración de metales pesados en las raíces y en la parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 54

V. DISCUSIÓN 84-92

VI. CONCLUSIONES 93-96

VII. RECOMENDACIONES 97

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 98-108

ANEXO 109

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº	PÁGINA
1. Planta metalófita excluyente	16
2. Interacción suelo- planta	18
3. Fitoextracción	18
4. Rhizofiltración	19
5. Fitoestabilización	20
6. Fitovolatilización	20
7. Fitodegradación/ fitoestimulación	21
8. Diseño de estudio	35

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA Nº **PÁGINA**

1. **Tabla N° 01**: Flora nativa principal del área de estudio 27
2. **Tabla N° 02**: Otras especies implantadas sobre inmediaciones de la relavera 27
3. **Tabla N° 03**: Puntos de ubicación de las muestras 40
4. **Tabla N° 04**: Concentración de metales pesados (mg/kg) en el suelo de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 45
5. **Tabla N° 05**:Comparación de las concentraciones de metales pesados detectados en las muestras de suelo de *Solanum hispidum* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana 47
6. **Tabla N° 06**: Comparación de las concentraciones de metales pesados detectados en las muestras de suelo de *Schinus molle* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana 48
7. **Tabla N° 07.** Comparación de las concentraciones de metales pesados detectados en las muestras de suelo de *Cortaderia rudiuscula* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana 49

8.**Tabla N° 08.** Comparación de las concentraciones promedio detectados en las 3 muestras de suelo analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana 51

9.**Tabla N° 09.** Correlación de los metales pesados en suelo 54

10. **Tabla N° 10.** Concentraciones de Ag en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 55

11. **Tabla N° 11.** Concentraciones de As en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 56

12. **Tabla N° 12.** Concentraciones de Cd en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 57

13. **Tabla N° 13.** Concentraciones de Cu en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 59

14. **Tabla N° 14.** Concentraciones de Pb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 60

15. **Tabla N° 15.** Concentraciones de Sb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 61

16. **Tabla N° 16.** Concentraciones de Sn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 62

17. **Tabla N° 17.** Concentraciones de Zn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 63

18. **Tabla N° 18.** Concentraciones de Al en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 65

19. **Tabla N° 19.** Concentraciones de Fe en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 66

20. **Tabla N° 20.** Concentraciones de Mn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 67

21. **Tabla N° 21.** Concentraciones de Mg en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 67

22. **Tabla N° 22.** Concentraciones de K en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum* 68

23. **Tabla N° 23.** Concentraciones de P en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum* 69

24. **Tabla N° 24.** Concentraciones de Ca en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Cortaderia rudiuscula* 70

25. **Tabla N° 25.** Metales en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de *Solanum hispidum***,** *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* (mg/kg) 72

26. **Tabla N° 26:** Factor de bioconcentración en la parte radicular de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 74

27. **Tabla N° 27:** Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 76

28. **Tabla N° 28:** Factor de bioconcentración de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 78

29. **Tabla N° 29:** Factor de traslocación de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO Nº	PÁGINA
1. **Gráfico N° 01:** Concentración de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*	46
2. **Gráfico N° 02:** Concentración de metales pesados en el suelo de áreas contaminadas con el relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas y los Estándares de Calidad Ambiental Canadiense para los cuatro usos de suelo	53
3. **Gráfico N° 03:** Concentración de Ag en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	56
4. **Gráfico N° 04:** Concentración de As en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	57
5. **Gráfico N° 05:** Concentración de Cd en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	58
6. **Gráfico N° 06:** Concentración de Cu en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	59
7. **Gráfico N° 07:** Concentración de Pb en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas	60

8. **Gráfico N° 08:** Concentración de Sb en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 62
9. **Gráfico N° 09:** Concentración de Sn en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 63
10. **Gráfico N° 10:** Concentración de Zn en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas 64
11. **Gráfico N° 11:** Concentración de Al en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 65
12. **Gráfico N° 12:** Concentración de Fe en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 66
13. **Gráfico N° 13:** Concentración de Mn en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 67
14. **Gráfico N° 14:** Concentración de Mg en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* 68
15. **Gráfico N° 15:** Concentración de K en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum* 69

16. **Gráfico N° 16:** Concentración de P en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum* 70
17. **Gráfico N° 17:** Concentración de Ca en el suelo, parte radicular y parte *Cortaderia rudiuscula* 71
18. **Gráfico N° 18:** Metales pesados en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*(mg/kg) 72
19. **Gráfico N° 19:** Factor de bioconcentración en la parte radicular de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 75
20. **Gráfico N° 20:** Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 77
21. **Gráfico N° 21:** Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 79
22. **Gráfico N° 22:** Factor de traslocación de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula* 82

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas, ubicada en el distrito de Jangas de la provincia de Huaraz.

El propósito fundamental fue explorar plantas con bondades para fitorremediación de estos escenarios. Para ello, se evaluó tres especies de plantas que crecen en espacios contiguos al relave minero de la planta concentradora de Santa Rosa de Jangas, determinándose los niveles de bioconcentración de metales pesados en el suelo, a nivel radicular y en la parte aérea de las especies de ***Solanum hispidum*** (ñawipashtaq), ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia). El mayor factor de translocación en plomo, cadmio y zinc fue obtenido en *Solanum hispidum*, lo que indica que esta especie vegetal traslada eficazmente estos metales de la raíz a la parte aérea de la planta.*Schinus molle*, mostro un factor de bioconcentración de 28.7 para boro, lo que califica como hiperacumuladora por presentar FBC >10. Por otro, lado la especie *Cortaderia rudiuscula* presentó un FBCaérea de 21.3 de boro, lo que indica que esta especie es hiperacumuladora para este elemento.

Palabras Clave: Relave minero; Bioconcentración; Fitorremediación.

ABSTRACT

The present experimental work was developed in the concentrator plan of Santa Rosa of Jangas, this located in Jangas district of the Huaraz province.

We sought to explore plants for phytoremediation benefits of these scenario. For this purpose three plants growing in adjacent spaces to the concentrator plant tailings Santa Rosa Jangas, determined biocentration levels of heavy metals to the root level and evaluated in the aerial part of seltzer ***Solanum hispidum*** (ñawipashtaj, solanum), ***Schinus molle***(Molle) y ***Cortaderia rudiuscula***(Cortaderia).Themostimportant factor of translocation of lead, cadmium and zinc wasobtained in *Solanum hispidum*, whichindicatesthatthisplantspecieseffectivelymovesthesemetalsfromroottothe aerialpart of theplant.*Schinus molle*showed a 28.7 BCF forboron, which describes thisplant as hyperaccumulatortopresent FBC> 10. Furthermore*Cortaderia rudiuscula*speciespresent a boronFBCaérea 21.3, indicatingthatthisishyperaccumulatorplantforthiselement.

Keys word: Mining tailings, bioconcentration, phytorremediation.

I. INTRODUCCIÓN

La explotación y tratamiento de los minerales en nuestro país se ha desarrollado desde tiempos históricos, sin ningún tipo de prevención de impactos ambientales en deterioro de los recursos naturales y la población humana, prueba de ello es que tenemos depósitos de relaves mineros (RMs) en las diversas cuencas de nuestro país (Quiñonez, 2007).

En el Perú se considera relave minero (RM) a aquellos depósitos de residuos producidos por operaciones mineras que en la actualidad han sido abandonadas y constituyen un riesgo potencial permanente para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Quiñonez, 2007).

La gran actividad del sector minero en el Perú ha dejado cerca de 600 RMs, que han impuesto riesgos de contaminación ambiental (Quiñonez, 2007).

Los RMs comienzan a deshidratarse luego de cumplir su vida útil; con ello, las partículas finas quedan expuestas a agentes físicos, como el viento y la lluvia, los que pueden dispersarlas al entorno, contaminando cursos de agua y suelos aledaños. Los RMs han sido históricamente abandonados, sin un manejo adecuado

(Ginocchio, 2004). Sin embargo, las actuales normativas peruanas en el ámbito del cierre de faenas mineras enfatizan que los depósitos de RMs deberán ser estabilizados de forma efectiva y ambientalmente sustentable tanto en el corto como en el largo plazo.

Entre las tecnologías utilizadas con éxito en países desarrollados se encuentra la fitorremediación, la cual consiste en el establecimiento de plantas metalófitas excluyentes, o sea tolerantes a metales y capaces de restringir el transporte interno de metales a los tejidos aéreos y en la incorporación de acondicionadores de sustratos adecuados para inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales presentes en los RMs. Esta tecnología permite acelerar los procesos de repoblamiento vegetal que podrían ocurrir naturalmente en las áreas perturbadas pero en plazos de cientos o miles de años, de tal manera que se pueda reconstruir más rápido un sistema natural autosustentable que esté integrado al resto del ambiente. De esta forma, la fitorremediación permite devolver el sustrato en una condición ecológicamente aceptable, recuperar el ecosistema y realizar diversos usos posteriores del área.

La tecnología de fitorremediación proporciona una solución eficiente, ambientalmente sustentable y de bajo costo (Berti y Cunningham, 2000), cuya relación costo-beneficio puede ser mejorada utilizando especies vegetales que proporcionen beneficios adicionales (Ginocchio, 2004). Otros países, como Australia y Estados Unidos, se encuentran estudiando especies vegetales con potencial de explotación comercial en la rehabilitación de RMs.

Aunque la fitorremediación ha sido muy efectiva en la bioestabilización de depósitos de RMs en países industrializados, no ha sido aún utilizada en RMs

abandonados y post-operativos ubicados en el Perú. Estudios internacionales han mostrado que uno de los factores críticos para el éxito de esta tecnología es la adecuada selección de las especies metalófitas excluyentes, así como la selección y utilización de enmiendas capaces de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del sustrato, de modo que se reduzca la movilidad y la biodisponibilidad de los metales, se promueva la vida microbiana y se asegure el establecimiento de la cubierta vegetal. De esta manera, sería posible lograr la funcionalidad integral y la autosustentabilidad del sistema tanto en el mediano como en el largo plazo (Conesa *et al*, 2007; Miller, 1996; Petrisor *et al*, 2004). Como mencionan algunos estudios, es preferible la utilización de plantas nativas para estos fines, ya que éstas suelen ser más apropiadas que las plantas exóticas a las condiciones ambientales y geográficas de cada lugar y se encuentran integradas a los ecosistemas locales (Conesa *et al*, 2007). Debido a la escasa información existente actualmente en el Perú se hace indispensable estudiar los recursos fitogenéticos propios de la zona, de tal forma que se pueda disponer de herramientas locales adecuadas para ser usadas en forma efectiva en la mitigación de impactos ambientales relacionados con el sector minero.

Esta tesis busca identificar especies vegetales que tengan propiedades de fitorremediación. Para evaluar la capacidad fitorremediadora de las plantas elegidas se utilizó el método de Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), el cual nos indicó la concentración de metales pesados totales (MPT) en suelo (en el suelo donde se desarrollaron las plantas) y en las plantas en sí.

OBJETIVOS:

Objetivo General

Evaluar la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

Objetivos Específicos

1. Determinar la concentración de los metales pesados totales en el suelo/relave.
2. Determinar la concentración de metales pesados totales en la parte radicular y aérea de las especies vegetales de ***Solanum hispidum*** (ñawipashtaq), ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia) del entorno del RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

HIPÓTESIS

Las plantas que crecen en ambientes perturbados, tienen capacidad de adaptación, lo que implica que poseen mecanismos de exclusión de los metales a los que secuestran a nivel radicular o aéreo concentrándolos bajo formas inertes (Banasova *et al*, 2008; Hauser *et al*, 2010; Hutchings, 2000), por lo que se plantea la siguiente hipótesis:

Las especies vegetales adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas tienen un alto potencial como plantas fitorremediadoras.

Variables

Variable Dependiente:

Fitorremediación del relave minero de la planta conncentradora Santa Rosa de Jangas.

Variable Independiente:

Especies vegetales adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los RMs constituyen la principal preocupación con respecto a desastres ambientales porque implican incluso pérdidas de vida y daños a la propiedad. En términos de volumen los RMs constituyen el problema ambiental más grande. (www.idrc.cal/Lacro/oficina/index).

La planta concentradora Santa Rosa de Jangas, dedicada a la producción de minerales concentrados, viene generando residuos de mineral o RM desde los inicios de su operación. Por eso se busca remediar los suelos, haciéndose necesaria la fitorremediación y cierre con la mayor prontitud.

El método de fitorremediación en suelos fue introducido en el año 1993, pero el periodo importante de innovación empezó en el año de 1996 (Chaney, 1983).

La fitorremediación, mediante diversas técnicas, puede utilizarse para reducir, estabilizar o transformar una amplia variedad de contaminantes (Miller, 1996). Actualmente se reconoce que las técnicas de fitocorrección, basadas

en el uso de plantas (fitorremediación), son alternativas prometedoras a las técnicas clásicas de descontaminación para suelos con contaminación difusa o moderada (McGrath, *et al*, 2002; McIntyre, 2003; Vassilev *et al*, 2004).

De esta manera se buscaron las plantas mejor adaptadas al RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas, para proponerlas con mejores criterios de sostenibilidad en fitorremediación.

Se han realizado trabajos de investigación tales como:

"Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros". El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicabilidad y el desarrollo de las especies forestales que crecen en la sierra del Perú, sobre los 2000 msnm. (*Acacia visco, Buddleja coriacea, Eucalyptus globulus, Myoporum laetum, Polylepis racemosa y Schinus molle*). Se escogió árboles de 6 meses de edad aproximadamente, con una altura similar, plantados en RM durante 27 semanas para el tratamiento de fitorremediación y se hizo un análisis fisicoquímico al RM para determinar el pH y la concentración de elementos químicos. Se obtuvo una muestra de aproximadamente media tonelada de RM proveniente del RM "Susana" de la "Cía. Minera Argentum S. A., Unidad Morocoha", (Paredes, 2015).

Las especies forestales demostraron tener gran tolerancia a suelos contaminados y se obtuvo una remoción de los elementos químicos: antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb). Se homogenizó el RM y se dejó secando al ambiente durante 48 horas. Aplicando el método del cuarteo, se seleccionó una porción de 1 kg de RM (muestra control de RM), llamada T0R2, de la cual se analizó el pH y el

contenido de metales y metaloides. Este último se hizo por el método de ensayo fisicoquímico "agencia de protección ambiental" (EPA) 3050B y estuvo a cargo de un laboratorio acreditado (ALS Corplab). El RM se colocó en cubetas de vidrio de 0.012 m3 de capacidad. Sobre el RM se puso tierra agrícola sin realizar una mezcla, de tal manera que ambos estratos puedan diferenciarse a simple vista. Luego se sembró especímenes de cada especie vegetal seleccionada, agregando compost (100 g/planta) a la hora de sembrar las plantas, para que se adapten más rápido a su nuevo sustrato. Se dispuso 3 tratamientos de RM: TA (V:V) en las proporciones de 50:50 (T1R2); 80:20 (T2R2) y 100:0 (T3R2). Los árboles fueron regados manteniendo la humedad del sustrato por un período de 27 semanas y se les aplicó biofertilizante (EM-1®, producto comercial) mezclado con el agua de riego en una proporción de 1/20, para optimizar el desarrollo del organismo vegetal. Después de las 27 semanas los árboles fueron removidos de las cubetas y se tomaron muestras de 1.5 kg del RM para realizar los análisis de pH y contenido de metales y metaloides. Esta operación se realizó con todas las cubetas, excepto con las del tratamiento T3R2, cuyos árboles fueron descartados por mortandad a los pocos días de haber iniciado la etapa experimental, (Paredes, 2015).

Luego del análisis fisicoquímico practicado a la muestra T0R2, se constató la elevada concentración de metales pesados y metaloides contenidos en el relave, los cuales superan los ECAs (Estándares de Calidad Ambiental) para suelos (ECA-Suelo) a nivel nacional e internacional en sus tres categorías como son suelo agrícola, residencial y comercial; para suelos agrícolas: el Sb

supera en 15 veces, As en 44 veces, Cd en 26 veces, Cu en 87 veces, Ag en 3 veces y Pb en 42 veces. Además el pH fue ácido (2.46), fuera de los ECA-Suelo (6 a 8), (Paredes, 2015).

"Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados". El trabajo fue realizado en condiciones de invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región Lima, de octubre de 2011 a octubre de 2012. Fueron evaluados veinte tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos con 30%, 60%,100% de RM y suelo sin RM. La producción de biomasa disminuyó significativamente en *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, con el tratamiento de 100% de RM. La mayor eficiencia de acumulación de Pb y zinc (Zn) fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de RM, obteniendo 2 015.1 mg/kg de Pb masa seca (MS) y 1 024.2 mg/kg de Zn MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de Cd, con una concentración de 287.3 mg/kg MS con el tratamiento de 100% de RM. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de RM, con un IT de 41.5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de RM con IT de 68.5% y 67.9, (Jara *et al*, 2013).

"Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo de manera silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en la alimentación". Se evaluó en la especie *Amaranthus dubius* el factor de bioconcentración (FBC) de nutrientes

minerales y metales no esenciales, dado por el cociente entre su concentración en los órganos aéreos y la de los respectivos suelos, en muestras colectadas en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela: El Jarillo, la Escuela Técnica Agropecuaria Carrizal y La Maitana. También se comparó el FBC con el de otras seis especies, entre ellas *A. hybridus*. Se encontró que en las dos especies de amaranto el FBC de potasio (K) fue mayor y se observó bioconcentración (FB) de nitrógeno (N), fósforo (P), magnesio (Mg),calcio (Ca) y Cd en sus hojas; sin embargo, para aluminio (Al), hierro (Fe), manganeso (Mn), Cu, niquel (Ni), Zn, cobalto (Co), cromo (Cr) y Pb se obtuvo un FB<1. En Carrizal se hizo un segundo muestreo, colectando las raíces, comparándose *A. dubius* con tallos verdes o rojizos, y no se encontraron diferencias en la composición elemental en plantas de diferente coloración. Las hojas presentaron mayor concentración que las raíces para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn (factor de traslocación, FT>1). *A. dubius* resultó muy rico en N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn, elementos que interesan en la dieta animal, obteniéndose valores mayores en las hojas en comparación con las inflorescencias; sin embargo, se alerta sobre la necesidad de un control de los elementos no esenciales que pueden presentarse en concentraciones no recomendadas para el consumo, tal como ocurrió con Cd, Al, Cr y Pb en las muestras colectadas, (Olivares y Peña, 2009).

"Evaluación de tres especies nativas del desierto Chihuahuense para uso en fitorremediación". Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la tolerancia de las especies *Eleocharis macrostachya*, *Schoenoplectus americanus* y *Sporobolus airoides* a dosis crecientes de As, en condiciones de

inundación, y cuantificar la acumulación de As en la fitomasa. Las plantas se colectaron en campo y se mantuvieron con 5 cm de agua por arriba del sustrato durante todo el experimento. Se midió altura, número de brotes y número de inflorescencias. Cada tratamiento tuvo cinco repeticiones y los datos se sometieron a un análisis de varianza. La altura, el número de brotes y las inflorescencias no se vieron afectados ($P > 0.05$) por los tratamientos; sólo el As tuvo efecto negativo sobre el número de brotes en *S. airoides* ($P < 0.05$). Se midió la acumulación de As, tanto en la fitomasa aérea como en la raíz. Por cada mililitro de As adicionado al suelo, la concentración en las plantas aumentó y se registraron las siguientes concentraciones en las plantas: en *E. macrostachya* se tuvo un incremento de As de 0.215 mg/kg en la parte aérea y de 0.155 mg/kg en la raíz. En *S. americanus*, la concentración aumentó 0.085 mg/kg en la parte aérea y 0.127 mg/kg en la raíz. En *S. airoides*, la concentración aumentó 0.055 mg/kg en la parte aérea y 0.046 mg/kg en la raíz. Se determinaron los FBC y FT y se encontró que las especies *E. macrostachya* y *S. americanus* tienen potencial para fitorremediación de áreas inundadas contaminadas con As. El pasto *S. airoides* acumuló As sólo en la dosis de 9 mg/L y no soporta condiciones de inundación prolongada, (Núñez *et al*, 2007).

"Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiuscula* Stapt, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza Ancash-2013". El objetivo fue determinar el FBC y el FT de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiuscula* Stapf, de áreas contaminadas con el

RM minero Alianza. Se hizo uso de los métodos la línea de intercepción y muestreo selectivo, se analizaron metales pesados en dos especies de plantas cada una con tres repeticiones y sus respectivos suelos. Las muestras fueron llevadas a laboratorio debidamente rotuladas y el resultado obtenido fue que el *Juncus arcticus Willd* acumula concentraciones de Cu en las raíces y en la parte aérea más altas que las encontradas en el *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon*, *Viteveria zizanioides* y *Phragmities australis*, así mismo que las encontradas en las raíces del *Verbascum olympicum*, pero valores más bajos que los encontrados en su parte aérea. La *Cortaderia rudiuscula* Stapf acumula concentraciones de Cu en las raíces y en la parte aérea más altas que las encontradas en el *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon*, así mismo que las encontradas en la parte aérea del *Viteveria zizanioides* y *Phragmities australis*, pero valores más bajos que las encontradas en sus raíces. En la especie vegetal *Cortaderia rudiuscula* Stapf el Cu y Zn obtuvieron valores en el suelo agrícola que superan el límite del ECA, llegando hasta 223 mg/kg y 559 mg/kg respectivamente. Ambas especies mostraron concentración de metales pesados superiores a los fitotóxicos, éstos resultados indican que el *Juncus arcticus* Willd y la *Cortaderia rudiuscula* Stapf crecen en áreas contaminadas con el RM Alianza, y que fueron tolerantes a estos metales pesados, (Medina y Montano, 2014).

"Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados". Este trabajo de investigación se realizó con el objeto de cambiar las tecnologías tradicionales de remediación utilizando técnicas alternas como la biorremediación, la cual promueve los procesos naturales para acelerar la

recuperación de suelos, como la fitorremediación; que se basa en el uso de una especie de plantas llamadas metalófitas que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales. Se pudo obtener datos de plantas hiperacumuladoras, plantas que pueden acumular metales en alta concentración tales como *Thlaspi caerulescens* que acumuló Cd 3 000 mg/kg MS, *Haumaniastrum katangense* tuvo una concentración de Cu 8 356 mg/kg MS, Mn en *Macadamia neurophyila* presentó valores de 55 000 mg/kg MS, *Berkheya coddii* presentó valores de 17 000 mg/kg MS en Ni, Zn presentó valores de 10 000 mg/kg MS en *Thlaspi Calaminare*, (Ortega *et al*, 2009).

"Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fitorremediación". El objetivo fue evaluar el potencial fitorremediador de plantas nativas que crecen en los alrededores de sitios contaminados por metales, metaloides y no metales en las zonas mineras de Santo Domingo y La Libertad, Chontales. Esta investigación se diseñó para evaluar el potencial fitorremediador de plantas nativas que crecen en los alrededores de sitios contaminados por metales, metaloides y no-metales en las zonas mineras de Santo Domingo y La Libertad, Chontales. La evaluación se llevó a cabo al *i.)* determinar la capacidad de acumulación (FB raíz/suelo) de 32 metales, metaloides y no metales de interés en 22 especies de plantas nativas que crecen en el área de interés, *ii.)* determinar el patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos (FT órgano/raíz), *iii.)* clasificar las especies de plantas analizadas de acuerdo a su estrategia de acumulación de los

contaminantes inorgánicos y *iv.)* seleccionar plantas nativas que pudieran ser utilizadas para la fitorremediación de sitios contaminados de interés. La acumulación de los metales de interés en las plantas varió grandemente de acuerdo a las especies y a los metales específicos según el análisis de los resultados preliminares. Por ejemplo, las especies *Echinochloa colona, Cyperus odorantus* y *Digitaria sanguinalis* presentaron FBCs >1 para Al, Zn, Cu, Cr, Cd; mientras que para acumular Ag las especies con mayor potencial serían *Paspalum conjugatum, Thelypteris sp., Setaria liebmannii, Tripogandra serrulata, E. indica, E. colona, C. odorantus, D. sanguinalis* y *Verbena sp*., esta última presenta un FBC>8 para Hg, sin embargo no logra movilizarlo hacia sus partes aéreas (exclusora). *Oldenlandia* sp, *Cyperus luzulae* y *Mimosa pudica* presentaron altas concentraciones de Hg en las hojas posiblemente por deposición atmosférica, ya que la concentración detectada era mayor que la detectada en las raíces. *Paspalum conjugatum* presenta una distribución uniforme de Cr en todos sus órganos vegetativos (raíz, hoja, tallo, flores), (Mendieta y Taisigüe, 2014).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aspectos generales de los relaves mineros

Los RMs corresponden al residuo del proceso de obtención de minerales en la industria minera, sin un manejo ambientalmente apropiado. A grandes rasgos, este proceso cuenta con la molienda de la roca con mineral, adición de agua de 60% a 80% aproximadamente, adición de reactivos de flotación y espumantes, inyección de aire para

generación de burbujas, extracción del mineral flotante y la eliminación de la pulpa remanente denominada relave (Green, 2001).

El proceso natural de estabilización de un depósito de RM considera en primer término, la pérdida paulatina de humedad de las arenas, permitiendo con esto, un RM relativamente firme y seco. Todo el proceso de desecación puede tomar varios años dependiendo de las condiciones ambientales en donde se inserta el RM (Green, 2001).

2.2.2. Fitorremediación

La fitorremediación ha sido definida como el uso de plantas verdes para eliminar o acumular contaminantes peligrosos para el medio ambiente. Esta definición afecta a todas las plantas que, con procesos químicos, biológicos y físicos ayudan a la biorrecuperación de sustratos contaminados (Berti y Cunningham, 2000). Podemos distinguir dos tipos diferentes de fitorremediación: “in planta” y “ex planta”, según se realice la degradación del contaminante dentro de la propia planta o fuera de ella. En el primer caso (in planta), la planta absorbe el contaminante y lo incluye dentro de ella, mientras que cuando es “ex planta”, dicha degradación se realiza en la zona de la rizósfera, debido a los exudados radicales y a la mayor actividad que existe en la zona (Hutchinson *et al*, 2001).

2.2.3. Rehabilitación de relaves mineros a través de la fitorremediación

Es una tecnología de remediación que reduce el riesgo de contaminación causado por depósitos de desechos mineros masivos

post-operativos, mediante la incorporación de plantas capaces de tolerar las altas concentraciones de metales pesados y de acondicionadores de sustrato adecuados. Mediante esta tecnología los metales biodisponibles son precipitados, absorbidos y/o adsorbidos por los materiales agregados al sustrato, por las raíces de las plantas y por los microorganismos, donde son acumulados en formas inocuas (Berti y Cunningham, 2000; Dietz y Schnoor, 2001; Ginocchio y León-Lobos, 2007).

Esta tecnología ayuda a acelerar los procesos de repoblamiento vegetal que ocurren normalmente en plazos de cientos o miles de años, (Piha *et al*, 1995).

Las plantas elegidas para la fitorremediación debiesen ser, además de tolerantes a las altas concentraciones de metales, deficientes en la traslocación de ellos hacia tejidos aéreos; o sea, plantas metalófitas excluyentes, evitando así la introducción de contaminantes en la cadena alimenticia que podría generar efectos tóxicos sobre otros seres vivos (Berti y Cunningham, 2000; Ginocchio, 2004).

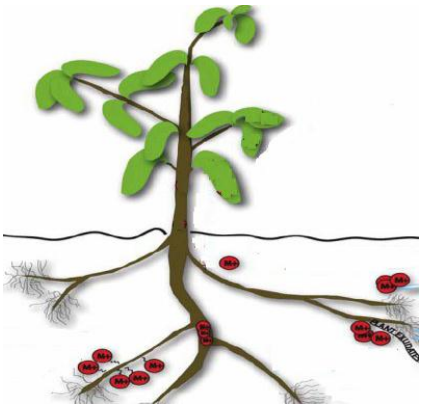


FIGURA N° 01: Planta metalófita excluyente.
Fuente: Santibáñez y Ginocchio.

Las especies exóticas pueden llegar a constituir especies invasoras que alteran la dinámica de las comunidades biológicas silvestres o de los cultivos presentes en las cercanías de la faena y no siempre son las apropiadas a las condiciones climáticas y geográficas del lugar, lo que incrementa los costos de mantención en el largo plazo (Conesa *et al*, 2007; Ginocchio, 2004; Mahmud *et al*, 2008).

Las especies colonizadoras de depósitos de RM y las especies potencialmente utilizables en programas de fitoestabilización, podrían constituir recursos fitogenéticos de gran valor en la rehabilitación de desechos mineros masivos y podrían ofrecer usos productivos y de sustento, promoviendo la conservación de estas especies y de los ecosistemas locales (Ginocchio y Baker, 2004).

2.2.4. Mecanismos de fitorremediación

La fitorremediación engloba un grupo de técnicas emergentes basadas en el uso de especies vegetales y sus microorganismos asociados para extraer, acumular, inmovilizar o transformar los contaminantes del suelo (Figura N° 02), (Barceló y Poschenrieder, 2003; Ghosh y Singh, 2005; Pilon, 2005).

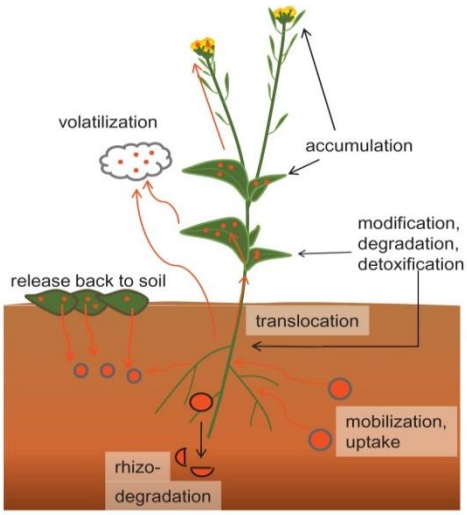


Figura N° 02: Interacción suelo-planta
Fuente: Jacob, 2013

a. Fitoextracción

Una especie específica de planta puede absorber e hiperacumular contaminantes metálicos y/o las sustancias nutritivas en exceso que se encuentran en el suelo o sustrato y son transportadas a los tejidos vegetales. Es conveniente cultivar especies que tienen la capacidad de fitoextracción para quitar la mayor parte de metales y sustancias nutritivas de exceso de suelos contaminados. Estas plantas pertenecen a la familia Bracicaceae, (Saxena *et al*, 1999).

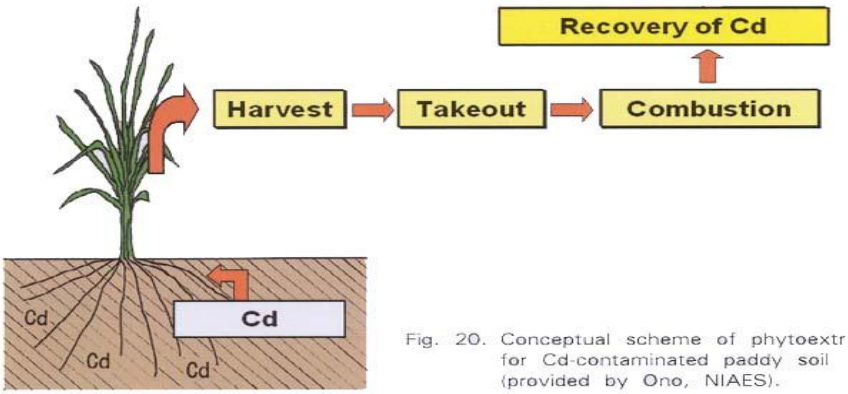


FIGURA N° 03: Fitoextracción
Fuente: Jacob, 2013

b. Rizofiltración

La planta utiliza sus raíces para absorber el metal contaminante y/o sustancias nutritivas de exceso que se encuentran en los sustratos de crecimiento acuosos (corrientes de aguas residuales, sistemas que reciclan sustancias nutritivas). Esta acción es conveniente para la remediación de la mayor parte de metales, sustancias nutritivas de exceso y el agua contaminada, (Saxena *et al*, 1999).

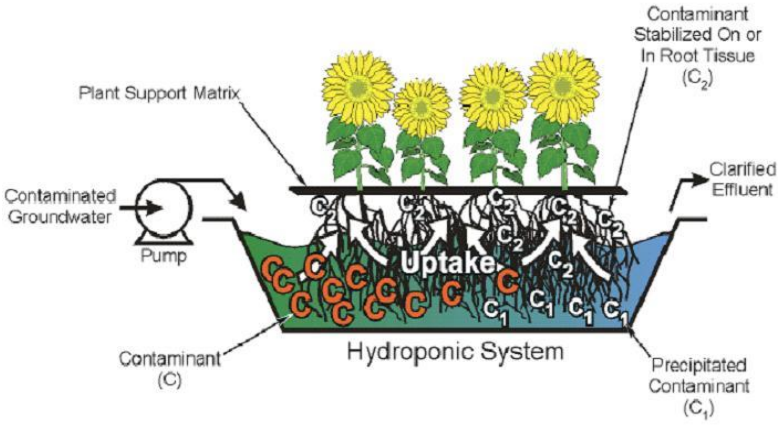


FIGURA N° 04: Rhizofiltración
Fuente: Jacob, 2013

c. Fitoestabilización

Las plantas poseen propiedades para estabilizar, desmovilizar e inmovilizar a los contaminantes en la matríz de suelo. Esta capacidad que posee la planta es conveniente tanto para el suelo orgánico como para metálico contaminado. Tanto las plantas comunes agrícolas como hortícolas han presentado la capacidad de fitoestabilización, (Saxena *et al*, 1999).

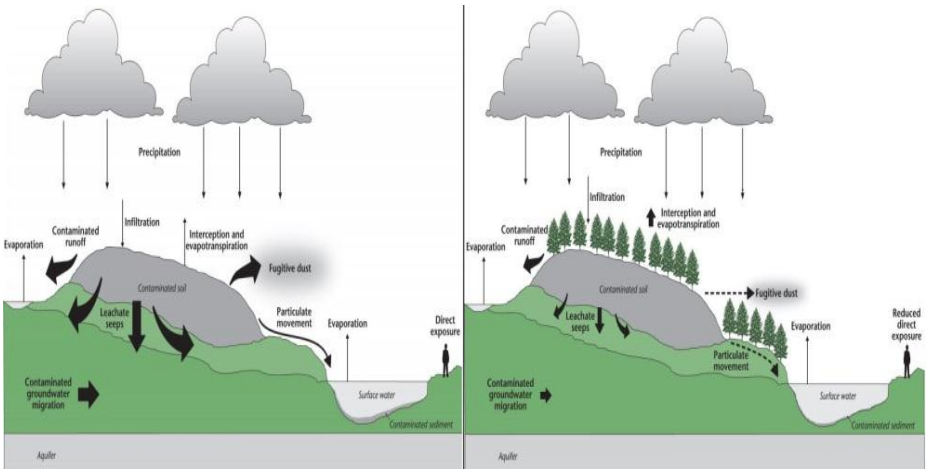


FIGURA N° 05: Fitoestabilización
Fuente: Jacob, 2013

d. Fitovolatilización

Usa la capacidad de plantas para absorber y posteriormente volatilizar el contaminante en la atmósfera. Esta acción es conveniente para remediar metales como el Hg y el Se presentes en suelos contaminados, (Saxena *et al*, 1999).

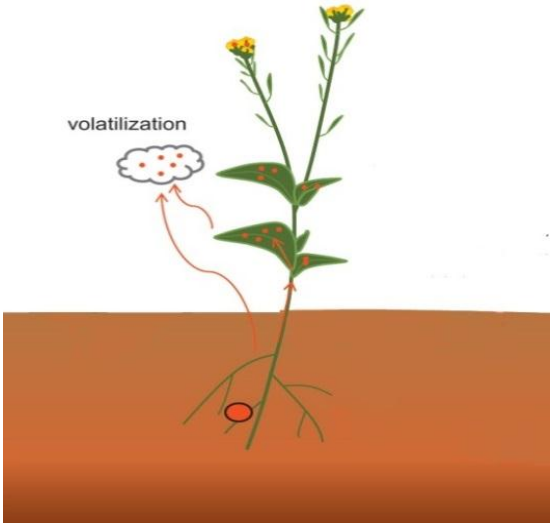


FIGURA N° 06: Fitovolatilización
Fuente: Jacob, 2013

e. Fitodegradación/ fitoestimulación

Utilizan las asociaciones *rhizobium* entre plantas y microorganismos del suelo para degradar el complejo de las mezclas orgánicas y metálicas. Esto es conveniente para remediar de nuevo hidrocarburos poliaromáticos e hidrocarburos de petróleo de suelos contaminados, (Saxena *et al*, 1999).

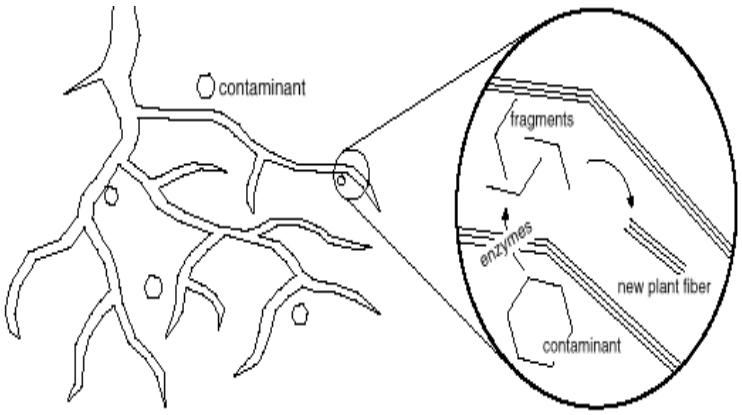


FIGURA N° 07: Fitodegradación/ fitoestimulación
Fuente: Jacob, 2013

2.2.5. Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente, lo cual determina su sobrevivencia (Macnair, 2002, Kuiper, 1984).

Los mecanismos de tolerancia son en gran parte internos: los metales son absorbidos por plantas crecidas en sustrato metalífero, presentando una serie de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas desarrolladas en varios grados para diferentes metales en diferentes especies y poblaciones (Baker, 1987).

La base genética de la tolerancia hacia los metales pesados, son altamente heredables, lo que involucra una rápida respuesta frente a la selección, debido al importante componente genético aditivo que controla la variación de la tolerancia (Bradshaw y McNeilly, 1985).

2.2.6. Proceso de acumulación de metales en las plantas

Aunque las plantas hiperacumuladoras tienen una extraordinaria capacidad para absorber metales pesados, esta capacidad depende de la biodisponibilidad de los metales en el suelo y, particularmente, del suministro a partir de formas menos disponibles para la planta. (McGrath *et al*, 1997, Wenzel *et al*, 2003).

El concepto de biodisponibilidad se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, que determinan las relaciones entre las formas disueltas, lábiles y no lábiles de los elementos. Por ello, es fundamental, al determinar el grado de contaminación por metales pesados de un ambiente, conocer su biodisponibilidad, es decir, la concentración del metal libre y lábil presente en la muestra. (Brown *et al*, 1999; Kim *et al*, 2002; Krishnamurti y Naidu, 2000; Lussier *et al*, 1999; Manson y Lawrence, 1999).

El equilibrio dinámico que se establece entre estas fracciones, más que el contenido total de metales, determina la movilidad y biodisponibilidad, siendo el pH, el potencial redox, y la cantidad y tipos de materia orgánica y arcillas los factores edáficos más importantes en su control (Korcak y Fanning, 1985). Además, las

condiciones de la interfase raíz-suelo (rizósfera) pueden ser modificadas por la planta, a través de producción de exudados radicales y la acción de deposiciones como mucílago y restos celulares. (Adriano *et al*, 2001; Lombi *et al*, 2001; Puschenreiter *et al*, 2003; Wenzel *et al*, 2003).

El proceso de acumulación de metales tiene en general los siguientes mecanismos (Maqueda, 2003):

A. Los iones alcanzan la zona de absorción de la raíz por difusión a través de la solución del suelo, son arrastrados por el movimiento del agua hacia la raíz o entran en contacto con la zona de absorción a medida que la raíz crece, (Fernández y Maldonado, 2000). Los iones metálicos son movilizados por la secreción de agentes quelantes, proteínas que promueven la solubilidad del elemento o por la acidificación de la rizósfera, (Fernández y Maldonado, 2000).

B. Las raíces capturan a los metales hidratados o a los complejos metal-quelante y los internan al medio celular por medio de sistemas de transporte constituidos por canales iónicos y transportadores. Dichos sistemas de transporte son energizados por bombas de protones secundarias. Dentro de las células los metales son quelatados principalmente por ácidos orgánicos, ionóforos o fitoquelatinas; la vacuola o proteínas especializadas como la ferritina o las metalotioneínas constituyen siempre un almacén importante de metales, (Fernández y Maldonado, 2000).

C. Los metales se transportan a la parte aérea vía el xilema, ya sea como iones hidratados o principalmente como complejos con histidina o ácido cítrico, entre otros (Fernández y Maldonado, 2000).

D. Después de penetrar el apoplasto foliar, los metales se distribuyen dentro de las células, manteniendo en cada organelo las concentraciones dentro de rangos fisiológicos específicos. El exceso de metales esenciales y no esenciales se almacenan en la vacuola, (Fernández y Maldonado, 2000).

2.2.7. Valoración e índices de tolerancia a los metales

Existe un índice basado en la cuantificación de los efectos inhibitorios de los iones metálicos en el crecimiento radical (Wilkins, 1957). De esta manera, cuanto mayor es la longitud de la raíz en la disolución que contiene el metal, mayor es el índice de tolerancia (Bradshaw y McNeill, 1985).

2.2.7.1. Índice de Bioconcentración (BF)

También conocido como Factor de bioconcentración (FBC), Coeficiente de absorción biológica (BAC), Coeficiente de transferencia (TC), Factor de concentración (Cf) o Coeficiente de bioacumulación (BAC). Se define como la relación de la concentración de metales en la planta con respecto a la concentración total de metales en el suelo (Figliolia *et al*, 2002 y Pérez *et al*, 2008). Este índice es ampliamente usado para comparar la eficiencia de diferentes plantas (Kabata y Pendias, 2001).

2.2.7.2. Factor de bioconcentración en la raíz de la planta

También conocida como Factor de concentración biológica (FCB) o Root accumulation factor (RAF). Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Yoon *et al*, 2006).

2.2.7.3. Shoot accumulation factor (SAF)

También es conocido por Factor de Remediación (RC) o Bioacumulation factor (BAF). Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto a la superficie del suelo (Vyslouzilova *et al*, 2003). Este índice puede otorgar una indicación si la planta es apta para los procesos de fitoextracción (Whitfield y Zeeb, 2010). Si este índice es mayor que 1, el objetivo de la remediación se da por cumplido y la eliminación de la vegetación contaminada sería económicamente más efectiva que la eliminación del suelo contaminado. Si este índice es menor a uno, también podría ser aceptable, por ejemplo, cuando se hace compactación antes de transportar los desechos de la planta fuera del sitio para reducir el volumen del material vegetal a extraer y por lo tanto aumenta la concentración de los contaminantes en el proceso final de la fitoextracción (Sas *et al*, 2004). El 50% de la MS de la planta podría perderse como CO2 durante el compostaje, con lo cual una media de BAF de 0,5 podría ser suficiente. Por lo tanto, es muy difícil estimar el índice

mínimo a partir del cual la fitoextracción sería eficiente (Lazzari *et al*, 1999).

2.2.7.4. Factor de Transferencia (FT)

Llamado también factor de traslocación (FT), relaciona la acumulación de metales en la parte aérea con respecto a la raíz y es usado para medir la efectividad de la planta en la translocación de metales pesados desde la raíz hacia la parte aérea (Sun *et al*, 2008).

2.2.8. Flora nativa de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas con potencial en programas de fitoestabilización y usos alternativos

A través de una revisión de la literatura científica, técnica y etnobotánica sobre los usos que se les ha dado tradicionalmente y que se les pudiese dar a las especies nativas, se identificaron potenciales usos de las especies que han colonizado espontáneamente depósitos de RMs en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas y de especies que, dadas sus características ecológicas, podrían establecerse y crecer en depósitos de RMs acondicionados a través de la tecnología de fitorremediación, (Espinoza, 2007).

Se identificaron diferentes especies nativas instaladas al borde y sobre el RM; también se encuentra presencia de especies cultivadas en los alrededores, (Espinoza, 2007).

A continuación se presenta el cuadro resumen del inventario de la flora nativa e instalada dentro del área de estudio:

Tabla N° 01: Flora nativa principal dentro del área de estudio

Ord. Dens.	Nombre Común	Nombre Científico	Observaciones
1	Kikuyo	*Pennisetum clandentinum*	Implantación natural y crece sobre el relave.
2	Amor seco o Shillco	*Bidens andicola Kunth*	Implantación natural y crece próxima al relave.
3	Anís silvestre	*Tagetes tilifolia*	Implantación natural y crece próxima al relave.
4	Canchalagua	*Schkuhria pinnata*	Implantación natural y crece próxima al relave.
5	Malva silvestre	*Nototriche sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
6	Cebadilla	*Bromus sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.

Fuente: (Espinoza, 2007).

Tabla N° 02: Otras especies implantadas en la inmediación del relave minero

Ord. Dens.	Nombre Común	Nombre Científico	Observaciones
1	Alfalfa	*Medicago sativa*	Sembrada y crece próxima al relave.
2	Alfalfilla de flor amarilla	*Melilotus indicus L.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
3	Campanilla	*Ipomoea sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
4	Capulí	*Prunus serótina*	Implantación natural y crece próxima al relave.
5	Cardo o cojón del diablo	*Lamicerecereus cartwhiatianus*	Implantación natural y crece próxima al relave.
6	Chichicra o chuchucora	*Rumex sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
7	Chilca	*Bacharis salicifolia*	Implantación natural y crece próxima al relave.
8	Chincho	*Tagetes multiflora*	Implantación natural y crece próxima al relave.
9	Congona	*Peperomia sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
10	Diente de león	*Taraxacum officinale*	Implantación natural y crece próxima al relave.
11	Espadilla	*Baccharis genistelloides*	Implantación natural y crece próxima al relave.

12	Estregón	*Artemisa drancunculus L.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
13	Garbancillo	*Astragalus garbancillo DC.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
14	Marco	*Ambrosia arborescens*	Implantación natural y crece próxima al relave.
15	Molle	*Schinus molle*	Plantado y crece próximo al relave.
16	Llantén	*Plantado sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
17	Moradilla	*Amaranthus porrigens*	Implantación natural y crece próxima al relave.
18	Mullaca	*Muehlenbakia volcánica*	Implantación natural y crece próxima al relave.
19	Musgo	*Sphagum sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
20	Nawi pashtaq	*Solanum hispidum*	Implantación natural y crece cerca y sobre el talud del relave.
Ord. Dens.	**Nombre Común**	**Nombre Científico**	**Observaciones**
21	Ocsha	*Festuca sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
22	Pájaro bobo	*Tessaria integrifolia*	Implantación natural y crece próxima al relave.
23	Ray grass	*Lolium sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
24	Paico	*Chenopodium ambrosioides L.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
25	Retama	*Spartium junceum*	Implantación natural y crece próxima al relave.
26	Santa lucila	*n.d.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
27	Shoclla	*Brachypodium sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.
28	Trébol blanco	*Trifolium amabile Kunth*	Implantación natural y crece próxima al relave.
29	Verbena	*Verbena sp.*	Implantación natural y crece próxima al relave.

30	Yerbasanta	*Cestum auriculatum*	Implantación natural y crece cerca y sobre el talud del relave.
31	Yuyo	*Brassica lapa camprestres L.*	Implantación natural y crece cerca y sobre el talud del relave.

Fuente: (Espinoza, 2007)

Es necesario indicar que especies como el kikuyo, el yuyo, la yerbasanta y ñawipashtaq, sean promisorias para tal propósito. Se implantaron en forma natural cerca del RM y por diseminación de semillas en algunos casos y por la agresividad de sus rizomas en otros, han empezado a invadir el sustrato ácido (Espinoza, 2007).

2.2.9. Descripción de las especies vegetales seleccionadas

a. Solanum hispidum

Descripción: Es un arbusto como de 50 cm a 80 cm de alto, las varas y las ramas tienen un polvo café amarilloso, las ramas y las hojas son de color verde oscuro. Las hojas son anchas, como con olanes a los lados, de color verde oscuro por arriba y verde cenizo por abajo, con espinas por los dos lados. La flor es azul violácea, crece en racimo en la punta de las ramas, florece en marzo y abril. La fruta es una bolita como de un centímetro de diámetro con rayas blancas, cuando está madura es amarilla. Se parece a un tomatito. Crece en todas partes, a orilla de los caminos, de los ríos, arroyos, (www.prisma.org.sv).

Uso: Se utiliza en la medicina contra la fiebre, solamente se recomienda comer un pedazo chico de la fruta madura, si se come mucho hace vomitar (www.prisma.org.sv).

b. *Schinus molle*

El **aguaribay**, **gualeguay** o **anacahuita** (***Schinus molle***), es una especie arbórea de hojas perennes perteneciente a la familia Anacardiaceae, originaria del sur de Brasil, Uruguay, y la Mesopotamia argentina; puede llegar a medir alrededor de 15 metros de altura. Una especie similar se distribuye desde Perú hasta el noroeste de la Argentina y Chile, estando asilvestrada en México, es el *Schinus areira*, el cual fue considerado por mucho tiempo sólo como una variedad de esta especie, llamándose por lo tanto: *Schinus molle* var. *areira*; hoy se la trata como especie plena, (Cdc. lamolina.edu.pe).

Descripción: Su copa es redondeada y elegante. Las ramas son gráciles y péndulas; puede llegar a medir alrededor de 15 metros de altura, con 238 cm de diámetro de tronco. Posee hojas perennes, compuestas imparipinnadas, lampiñas, con foliolos de borde marcadamente aserrado y dispuestos de 5 a 8 yugos (siendo siempre mayor la cantidad de los mismos en *Schinus areira*). Flores hermafroditas o unisexuales, de pequeño tamaño, dispuestas en un gran número en *panículas colgantes* terminales y axilares; son de color amarillo, tienen un cáliz con cinco lóbulos, cinco pétalos, diez estambres y un pistilo, rematado en tres estilos. Al madurar este

último, origina una drupita del tamaño de un grano de pimienta, de color rosa brillante, con muy poca carne y un solo hueso; al romperlo despide un agradable olor, algo resinoso, a pimienta, (Cdc. lamolina.edu.pe).

Distribución: *S. molle* es originario del estado de Río Grande del sur en el sur de Brasil, del Uruguay, y de la Mesopotamia argentina. Es una especie tolerante a la sequía y a las altas temperaturas, longeva, resistente y perenne, aunque no aguanta bien las heladas. Por estas razones se lo cultiva en todo el mundo. Ha llegado a ser un serio problema en muchos lugares del mundo por su carácter invasor, naturalizándose en los nuevos hábitats, (Cdc. lamolina.edu.pe).

Sistemática: Durante mucho tiempo, a una especie similar que se distribuye desde Perú hasta el noroeste de la Argentina y Chile, estando asilvestrada en México, se la consideró sólo como una variedad de *Schinus molle*, llamándose por lo tanto: *Schinus molle* var. *areira*; hoy se la trata como especie plena: *Schinus areira*, (Cdc. lamolina.edu.pe).

Usos

Uso medicinal: Se trata de una planta ampliamente utilizada por la medicina tradicional. A su corteza y resina se le han atribuido propiedades tónicas, antiespasmódicas y cicatrizantes y la resina es usada para aliviar las caries. Los frutos frescos en infusión se toman contra la retención de orina. Las hojas hervidas y los baños con el agua de las hojas en decocción, sirven como analgésico, cicatrizante y

antiinflamatorio de uso externo, y las hojas secas expuestas al sol se usan como cataplasma para aliviar el reumatismo y la ciática, (Cdc. lamolina.edu.pe).

Otros usos: La semilla se emplea como "pimienta rosada". Al frotarse en la piel genera una sustancia que aleja a los mosquitos. De las hojas y la corteza se extrae un aceite esencial (bálsamo) el cual es utilizado en dentífricos, perfumes y jabones como materia prima industrial, (Cdc. lamolina.edu.pe).

c. *Cortaderia rudiuscula*, cortaderia o mejor conocida como **yerba/hierba(s) de las pampas**, es una especie botánica de pastos rizomatosos muy altos, endémica en el sur de Sudamérica, en la región pampeana y en la Patagonia. Posee numerosas denominaciones comunes, entre ellas plumero, plumerillo, cola de zorro, carrizo de la pampa, paja penacho, paina, cortaderia, ginerio o gimnerio, (www.Magrama.gob.es).

Descripción: Crece en densa mata, pudiendo alcanzar 3 m de altura; hojas perennes, largas y finas, 1–2 m de largo y 1 cm de ancho, con bordes muy afilados (debiéndosela manipular con cuidado), color verde azulinas, pero pueden llegar a gris plateadas. Flores en densa panícula blanca de 3–9 dm de largo y 2–3 m de altura sus varas florales; sus espiguillas de 15-25 mm, c/una con 4-6 flores. Flores masculinas con 3-estambres, ovario rudimentario; femeninas con un ovario desarrollado y dos estilos plumosos. Florece entre los meses de

febrero a abril. Es de hábito hemicriptéfito, con raíces profundas y gruesas, (www.Magrama.gob.es).

Cultivo y uso: Crece en zonas cálidas y no soporta bien la helada. Es de fácil diseminación. Se utiliza para adorno de floreros secos, a veces teñida de otros colores, para eso se los corta cuando son jóvenes y se las seca cabeza abajo, (www.Magrama.gob.es).

2.3. Definición de términos

Relave Minero

La denominación RM hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se haya realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente (Yupari, 2004).

Metales pesados

Son aquellos elementos químicos que presentan una densidad superior a 5 g/cm3, una masa atómica mayor a la del sodio de 22,99 g/mol y número atómico superior a 20 (IUPAC, 2002).

Efectos de los metales pesados

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, hierro, cobre y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida.

Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente (Macnair, 2002).

Factor de traslocación (FT)

Es una medida del transporte interno de un metal e indica la relación entre la concentración acumulada en la parte aérea y la raíz de una planta (Mattina *et al*, 2003).

Factor de bioconcentración (FBC)

Se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta con relación a su concentración en el suelo. (Audet y Charest, 2007).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El estudio es de carácter cuantitativo con un diseño no experimental, por que consiste en tomar datos en un solo momento con la finalidad de analizar y describir la probable presencia de MPT, originada por el RM.

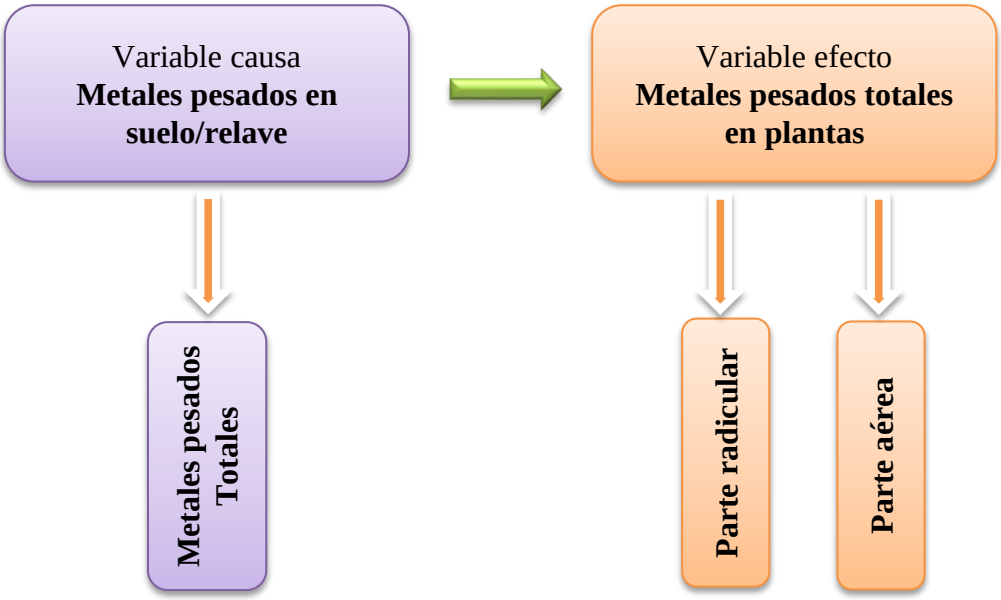


FIGURA N° 08: Diseño de Estudio

Se empleó un diseño de investigación transeccional del RM cuyo objetivo fue evaluar la concentración de MPT en suelo y los niveles de transferencia a los órganos de las plantas, los que se tomaron en puntos de monitoreo seleccionados, elijiendo tres especies vegetales *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*. El régimen de investigación fue libre, debido a que se trató de demostrar la concentración de MPT en la zona de investigación.

3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico

3.2.1. Descripción del área de estudio

La planta concentradora Santa Rosa de Jangas se ubica en el kilómetro 218 de la carretera Pativilca – Caraz, en el margen izquierdo y a 100 metros de la confluencia de los ríos Santa y Llancash, en el distrito de Jangas de la provincia de Huaraz (Espinoza, 2007), emplazada en las coordenadas 216 650 E y 8 960 967 N, a una altitud de 2 830 msnm. De acuerdo a la clasificación bioclimática efectuada por la ONERN en 1 995, el área de estudio pertenece a la zona de vida *bosque seco – Montano Bajo Tropical* (bs-MBT) (Aliaga, 2003).

La planta de tratamiento Santa Rosa de Jangas está diseñada para procesar 50 TM de minerales por día, generando sólidos marginales en el orden de 40 TM por día. El RM ocupa 1 500 m^2 aproximadamente, se emplaza en la parte baja de las instalaciones y opera desde el año 1 980 con interrupciones (Tarazona, 2005).

3.2.2. Características técnicas del relave minero

Base inferior. Terreno natural sin compactar y sin recubrimiento alguno, (Espinoza, 2007).

Tipo de conformación. Aguas arriba. El RM se va disponiendo con retiro hacia la parte alta de donde fluye por gravedad el relave. Los taludes se van conformando levantando un dique con material acumulado cerca de los taludes; para el efecto, el RM se ha dividido en celdas donde alternativamente se va disponiendo la pulpa de relave. Una vez que la altura del RM alcanzó el nivel del punto de descarga en la planta concentradora se utilizó una bomba de relave para distribuir el relave en las celdas siguiendo el mismo método de aguas arriba (Espinoza, 2007).

Clasificación por granulometría. Inicialmente se dispuso el RM por gravedad produciéndose una clasificación granulométrica por peso específico y tamaño de grano, posteriormente se instaló un ciclón que trabajó poco tiempo por falta de mantenimiento, por lo que puede considerarse que no existió una clasificación granulométrica del RM (Espinoza, 2007).

Drenaje. Para drenar el agua decantada se dispone de “chimeneas”, que son tubos enterrados por cuya parte superior fluye el agua decantada; este tubo va creciendo verticalmente conforme se incrementa la altura del RM. El agua drenada sale por la parte inferior y es conducida mediante tubos a las pozas de tratamiento final (Espinoza, 2007).

Tratamiento de agua. Se cuenta con dos pozas de sedimentación final en las que se agrega floculantes con la finalidad de disminuir el contenido de partículas sólidas en suspensión antes de que el agua salga hacia el río Santa en el punto de descarga (Espinoza, 2007).

Cobertura durante la operación. Los taludes han sido cubiertos con una capa de cal y suelo para evitar la exposición directa del relave y en la superficie durante la operación se mantiene con cobertura de agua para minimizar la generación de polvo (Espinoza, 2007).

3.2.3. Estudio en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, en el distrito de Jangas- provincia de Huaraz.

3.2.4. Población

La población estuvo conformada por todas las poblaciones vegetales que están adaptadas al entorno del RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.

3.2.5. Muestra

El muestreo fue no probabilístico a criterio del investigador. Considerando las plantas más representativas del área de estudio se eligió tres especies: ***Solanum hispidum*** (Solanum o ñawipashtaq), ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia) y las muestras se tomaron de los diferentes flancos del depósito de relave.

3.2.6. Unidad de Análisis

Se tomaron como unidades de análisis las muestras de suelo de cada planta para determinar MPT, la otra unidad de análisis corresponde a las plantas, tanto la parte radicular como la parte aérea, en las que también se ha determinado MPT.

3.2.7. Muestreo

Las muestras tomadas fueron las especies vegetales que se encuentran en el entorno del RM de la planta concentradora.

a) Para *Solanum hispidum*

Se seleccionó los puntos de muestreo aleatoriamente, donde se encontraban las plantas. A las áreas de las plantas seleccionadas se les adicionó agua desmineralizada para mantener la humedad del suelo en caso de sequía cercana a la capacidad de campo, hasta que las plantas inicien la floración. Las columnas representativas de la mezcla suelo-relave correspondiente a la rizósfera se obtuvieron de cada punto, usando un muestreador de humedad tipo Hoffer. Con la ayuda de una barreta se extrajo la planta, luego se separó la raíz de la parte aérea. Las muestras de plantas fueron subdivididas en parte aérea y parte radicular; en consecuencia, por cada punto se tuvo tres muestras (suelo, parte radicular y parte aérea de la planta), y esto se hizo por cada especie vegetal.

Cada muestra de planta fue secada a temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a la pulverización en mortero y el tamizado a través de una malla N° 30 de 600 µm. Las muestras

pulverizadas se digestaron para el análisis de los MPT. La temperatura inicial de digestión fue de 90° C por 45 minutos, luego a 140° C hasta obtener un 1ml de muestra aproximadamente.

Los suelos fueron digestados para determinar los mismos MPT analizados en las plantas según el método EPA 200.7. La digestión se hizo a una temperatura promedio de 85° C, en Ácido Nítrico y Ácido Clorhídrico concentrado. Después de la digestión de las muestras de suelos y plantas se realizó el análisis de los MPT de interés por ICP-OES.

b) Para *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Se siguió el mismo procedimiento que en el literal **a).**

Se realizó la toma de muestras del entorno del RM, donde los puntos de ubicación fueron:

Tabla Nº 03: Puntos de ubicación de las muestras

DESCRIPCION	COORDENADAS UTM	m.s.n.m.
Schinus molle	18L 0212462 UTM 8958188	2691
Solanum hispidum	18L 0216471 UTM 8960625	2487
Cortaderia rudiuscula	18L 0216548 UTM 8960612	2485

3.2.8. Transporte

Las muestras de suelo y plantas, debidamente rotuladas se llevaron al laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM a temperatura ambiental y se prepararon las premuestras; luego, estas muestras

fueron enviadas a la ciudad de Lima, al laboratorio Servicios Analíticos Generales para su análisis correspondiente.

a) <u>Del suelo/relave</u>

Los suelos fueron secados al aire, tamizados y almacenados para ser analizados. Se realizaron los análisis físicos y químicos de MPT en las tres especies en estudio ***Solanum hispidum*** (Ñawipashtaq o Solanum) ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia), (Anexo N° 129-131).

b) <u>De la Planta</u>

b.1. Parte radicular de la planta: se realizó los análisis químicos y físicos de la raíz de las plantas, en las tres especies en estudio ***Solanum hispidum*** (ñawipashtaq), ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia), (Anexo N° 129-131).

b.2. Parte aérea de la planta: se realizó los análisis químicos y físicos de presencia de metales pesados dentro de las plantas, en las tres especies en estudio ***Solanum hispidum*** (ñawipashtaq), ***Schinus molle*** (Molle) y ***Cortaderia rudiuscula*** (Cortaderia), (Anexo N° 129-131).

Las raíces, tallos y hojas fueron secados en la estufa a 65º C y pesados para determinar la producción de MS, luego fueron molidos en un micromolino de acero inoxidable, almacenados en bolsas plásticas con cierre hermético y luego se realizaron los análisis químicos.

3.2.9. Instrumentos de recolección de la información

- Equipo fotográfico.
- Gps.
- Tijera podadora.
- Lampa.
- Rastrillo.
- Pico.
- Barreta.
- Agua desmineralizada.
- Muestreador de humedad tipo Hoffer.
- Bolsas plásticas con cierre hermético.
- Cinta maskingtape.
- Lapicero.
- Libreta de campo.

3.3. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

La concentración de MPT en suelo como en plantas, fue analizada en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales SAC- Lima.

3.3.1 Determinación de metales pesados totales en suelo

Procedimiento

- Se pesó 1 gramo de sedimento/suelo seco y tamizado, y fue colocado en un recipiente de teflón.

- Las mezclas de ácidos atacantes fueron: 5 mL de $HNO_{3(CC)}$ y 15 mL de $HCl_{(CC)}$ a 100 ºC por tres horas, en baño de arena o en digestor de microondas según metodología.
- Se enfrió el extracto digerido y enrasó a 100 mL con agua ultrapura, se centrifugó a 3000 rpm durante 20 minutos.
- Del líquido sobrenadante se pipeteó y enrasó a 100 mL con agua ultrapura y llevó a leer en el ICP previamente verificado.

3.3.2 Determinación de metales pesados totales en plantas

Procedimiento

- Se pesó 1 gramo de muestra seca triturada de planta y se colocó en un recipiente de teflón.
- Las mezclas de ácidos atacantes fueron: 5 mL de $HNO_{3(CC)}$ y 15 mL de $HCl_{(CC)}$ a 100 ºC por tres horas en digestor de microondas según metodología.
- Se enfrió el extracto digerido y enrasó a 100 mL con agua ultrapura, luego se centrifugó a 3000 rpm durante 20 minutos.
- Del líquido sobrenadante se pipeteó y enrasó a 100 mL con agua ultrapura y se llevó a leer en el ICP previamente verificado.

IV. RESULTADOS

A continuación presentamos los resultados obtenidos en campo y los análisis de los mismos. Para una mejor comprensión se ha hecho los análisis en el suelo y en la planta (parte aérea y en la parte radicular) (Anexo N° 129-131).

Cabe señalar que para efectos del presente estudio se denominó al factor de bioconcentración como FBCplanta, al factor de bioconcentración biológica como FBCradicular y al factor de remediación como FBCaérea.

4.1. La concentración de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Tabla N° 04: Concentración de metales pesados (mg/kg) en el suelo de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Suelo)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	3.12	5913	1590	3.85	58.7	0.49	20647	15.6	39.4	8.4	3.56	51	20000	0.06	703.8	12.5	3473	1517	1.45	57.8	5.08	1015	772	24.9	0.3	1.7	40.4	20	0.71	18.3	1254
Schinus molle	12.8	5410	1305	0.3	65.4	0.3	25315	16.3	33.4	6.61	6.77	135	20000	0.06	933	12.3	3135	1094	1.7	79.4	3.42	993	2067	15.8	0.3	3.1	50.8	14.9	0.6	16.1	1395
Cortaderia rudiuscula	75.8	5737	6000	0.3	56.2	0.26	20785	91.7	32.4	11	8.66	427	20000	8.92	1790	10.7	1847	2000	4.3	424	5.46	641	5000	143	0.3	11	53.1	46.6	1.6	13.5	5000

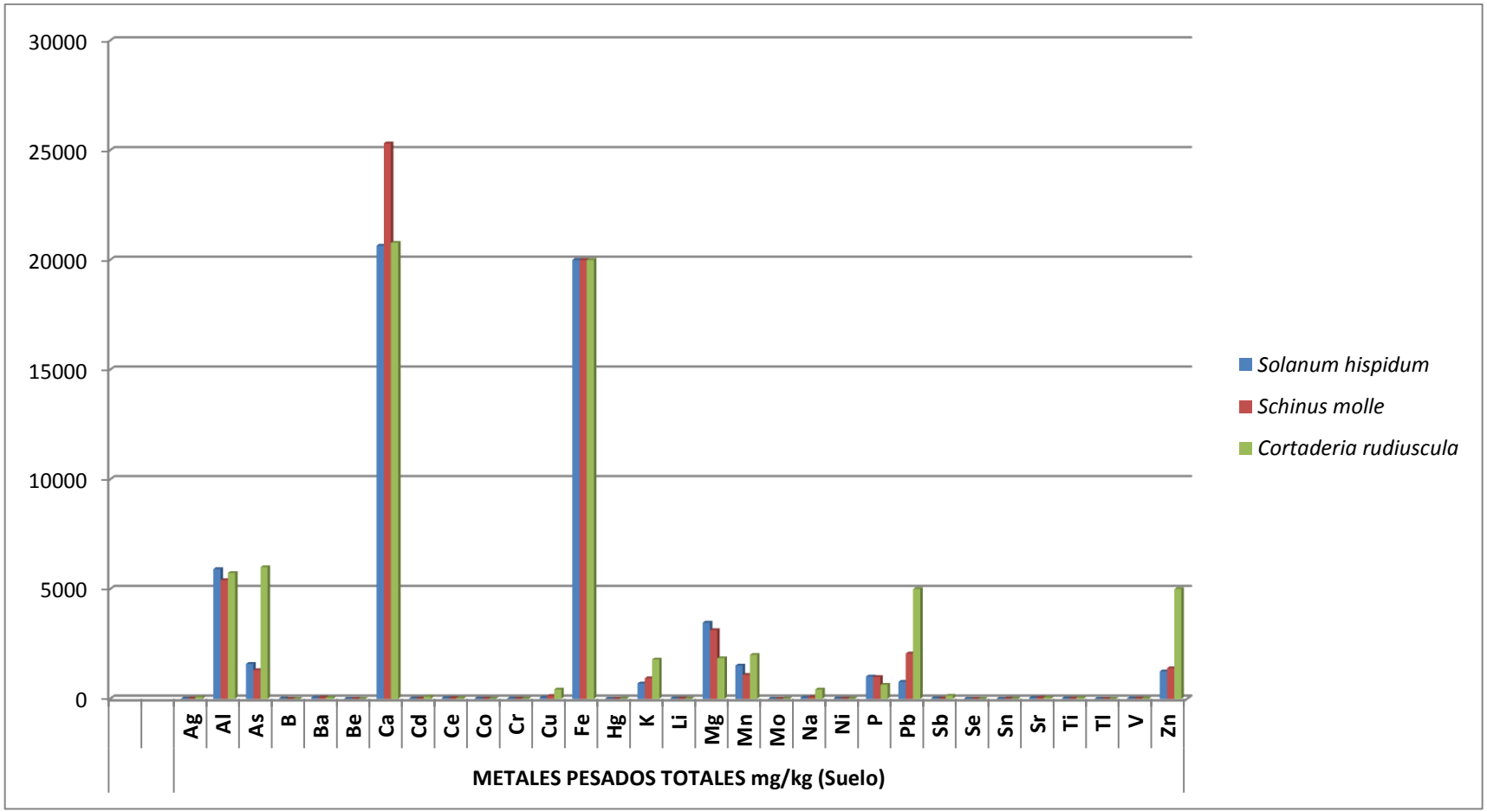


Gráfico N° 01: Concentración de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

El metal que se presenta en mayor concentración es el Ca, en *Schinus molle*, seguido del Fe que presenta la misma concentración para las tres especies en estudio. La concentración más alta de Al se presentó en la muestra coletada de *Solanum hispidum* con 5 913 mg/kg y la concentración mas alta As se mostró en *Cortaderia rudiuscula* con 6 000 mg/kg.

Tabla N° 05. Comparación de las concentraciones de metales pesados detectadas en las muestras de suelo de *Solanum hispidum* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana

Elementos	mg/kg	Agricultura	Residencial	Comercial	Industrial
Ag (Plata)	3.12	20	20	40	40
As (Arsénico)	**1589.8**	12	12	12	12
Ba (Bario)	58.7	750	500	2000	2000
Cd (Cadmio)	**15.64**	1.4	10	22	22
Co (Cobalto)	8.4	40	50	300	300
Cr (Cromo)	3.555	64	64	87	87
Cu (Cobre)	50.95	63	63	91	91
Ni (Niquel)	5.08	50	50	50	50
Pb (Plomo)	**772.27**	70	140	260	600
Sb (Antimonio)	**24.9**	20	20	40	40
Se (Selenio)	0.3	1	1	2.9	2.9
Sn (Estaño)	1.7	5	50	300	300
Tl (Talio)	0.713	1	1	1	1
V (Vanadio)	18.245	130	130	130	130
Zn (Zinc)	**1254.4**	200	200	360	360
Hg (Mercurio)	0.06	6.6	6.6	24	50
Al (Aluminio)	5913.15*	-	-	-	-
Fe (Hierro)	20000*	-	-	-	-
Mn (Manganeso)	1516.70*	-	-	-	-

Nota:* Se consideraron por ser metales tóxicos y presentan altas concentraciones, pero no se encuentran dentro de los ECA canadienses.

Las concentraciones de metales pesados en el suelo de *S. hispidum* fueron comparadas con las directrices canadienses. La Tabla N° 05 muestra la comparación de los 16 elementos normados por las directrices Canadienses y los observados en los resultados, en los que se puede notar que tres elementos (As, Pb y Zn) sobrepasan las directrices para los cuatro usos del suelo, (agrícola, residencial, comercial e industrial). Los elementos Cd y Sb sobrepasan las directrices canadienses para los usos de suelo agrícola y residencial, los que están resaltados en "negrita".

Tabla N° 06. Comparación de las concentraciones de metales pesados detectadas en las muestras de suelo de *Schinus molle* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana

Elementos	mg/kg	Agricultura	Residencial	Comercial	Industrial
Ag (Plata)	12.82	20	20	40	40
As (Arsénico)	**1305.1**	12	12	12	12
Ba (Bario)	65.4	750	500	2000	2000
Cd (Cadmio)	**16.33**	1.4	10	22	22
Co (Cobalto)	6.61	40	50	300	300
Cr (Cromo)	6.77	64	64	87	87
Cu (Cobre)	**134.25**	63	63	91	91
Ni (Niquel)	3.42	50	50	50	50
Pb (Plomo)	**2066.61**	70	140	260	600
Sb (Antimonio)	15.8	20	20	40	40
Se (Selenio)	0.3	1	1	2.9	2.9
Sn (Estaño)	3.1	5	50	300	300
Tl (Talio)	**14.85**	1	1	1	1
V (Vanadio)	16.13	130	130	130	130
Zn (Zinc)	**1394.6**	200	200	360	360
Hg (Mercurio)	0.06	6.6	6.6	24	50
Al (Aluminio)	5410*	-	-	-	-
Fe (Hierro)	20000*	-	-	-	-
Mn (Manganeso)	1093.67*	-	-	-	-

Nota:* Se consideraron por ser metales tóxicos y presentan altas concentraciones, pero no se encuentran dentro de los ECA canadienses.

Las concentraciones de metales pesados en el suelo de *S. molle* fueron comparadas con las directrices canadienses; la Tabla N° 06 muestra la comparación de los 16 elementos normados por las directrices Canadienses y los observados en los resultados, en la que se puede notar que cinco elementos (As, Cu, Pb, Tl y Zn) sobrepasan las directrices para los cuatro usos del suelo, y un elemento (Cd) sobrepasa las directerices canadienses para los suelos de uso agrícola y residencial, los mismos que se pueden diferenciar porque están resaltados en "negrita".

Tabla N° 07. Comparación de las concentraciones de metales pesados detectadas en las muestras de suelo de *Cortaderia rudiuscula* analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana

Elementos	mg/kg	Agricultura	Residencial	Comercial	Industrial
Ag (Plata)	**75.8**	20	20	40	40
As (Arsénico)	**6000**	12	12	12	12
Ba (Bario)	56.2	750	500	2000	2000
Cd (Cadmio)	**91.72**	1.4	10	22	22
Co (Cobalto)	10.97	40	50	300	300
Cr (Cromo)	8.66	64	64	87	87
Cu (Cobre)	**426.99**	63	63	91	91
Ni (Niquel)	5.46	50	50	50	50
Pb (Plomo)	**640.5**	70	140	260	600
Sb (Antimonio)	**142.8**	20	20	40	40
Se (Selenio)	0.3	1	1	2.9	2.9
Sn (Estaño)	**11**	5	50	300	300
Tl (Talio)	**46.6**	1	1	1	1
V (Vanadio)	13.46	130	130	130	130
Zn (Zinc)	**5000**	200	200	360	360
Hg (Mercurio)	**8.92**	6.6	6.6	24	50
Al (Aluminio)	5737*	-	-	-	-
Fe (Hierro)	20000*	-	-	-	-
Mn (Manganeso)	2000*	-	-	-	-

Nota:* Se consideraron por ser metales tóxicos y presentan altas concentraciones, pero no se encuentran dentro de los ECA canadienses.

Las concentraciones de metales pesados en el suelo de *C. rudiuscula* fueron comparados con las directrices canadienses, la Tabla N° 07 muestra la comparación de los 16 elementos normados por las directrices Canadienses y los observados en los resultados, donde se detecta que ocho elementos (Ag, As, Cd, Cu, Pb, Sb, Tl y Zn) sobrepasan las directrices para los cuatro usos del suelo y el Sn, sobrepasa el suelo de uso agrícola y el Hg sobrepasa la directriz canadiense para los suelos de uso agrícola y residencial.

No se cuenta con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Suelo para el Al, Fe y Mn (Tabla N° 05, N° 06 y N° 07); sin embargo las concentraciones de Al, Fe y Mn son significativas llegando hasta los 5 913.15 mg/kg, 20 000 mg/kg y 1 516.69 mg/kg, respectivamente, en las muestras de *Solanum hispidum*. En *Schinus molle* 5 410 mg/kg, 20 000 mg/kg y 1 093.67 mg/kg de Al, Fe y Mn, respectivamente y en *Cortaderia rudiuscula* 5 737 mg/kg, 20 000 mg/kg y 2 000 mg/kg de Al, Fe y Mn, respectivamente.

Tabla N° 08. Comparación de las concentraciones promedio detectadas en las 3 muestras de suelo analizadas con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana

Elementos	Promedio mg/kg	Agricultura	Residencial	Comercial	Industrial
Ag	**30.58**	20	20	40	40
As	**2964.97**	12	12	12	12
Ba	60.1	750	500	2000	2000
Cd	**41.23**	1.4	10	22	22
Co	8.66	40	50	300	300
Cr	6.33	64	64	87	87
Cu	**204.06**	63	63	91	91
Ni	4.65	50	50	50	50
Pb	**2612.96**	70	140	260	600
Sb	**61.17**	20	20	40	40
Se	0.3	1	1	2.9	2.9
Sn	**5.27**	5	50	300	300
Tl	0.97	1	1	1	1
V	15.95	130	130	130	130
Zn	**2549.67**	200	200	360	360
Hg	3.01	6.6	6.6	24	50

Las concentraciones de MPT detectadas en los suelos de las tres especies vegetales se promediaron y luego fueron comparadas con las directrices Canadienses de calidad de suelos para la protección a la salud humana y ambiental (CCME, 2007) para los distintos usos (agrícola, residencial, comercial e industrial). La Tabla N° 08 muestra la comparación de los 16 elementos normados por las directrices Canadienses y en la que se puede observar que seis elementos (As, Cd, Cu, Pb, Sb y Zn) sobrepasan las directrices para los cuatro usos del suelo, un elemento (Sn) sobrepasa el de uso de suelo agrícola y un elemento (Ag)

sobrepasa la directriz para los suelos de uso agrícola y residencial, por lo que concluimos que este suelo debe tener un uso restringido.

En el caso de los ocho elementos restantes (Ba, Co, Cr, Ni, Se, Tl, V y Hg) se encuentran dentro de las directrices Canadienses para los suelos agrícolas, residencial, comercial e industrial.

El promedio de la concentración de Ag en el suelo de dichos sitios fue relativamente alto, con un valor de 30.58 mg/kg el mismo que sobrepasa el ECA canadiense para los suelos agrícola y residencial (tabla N° 08).

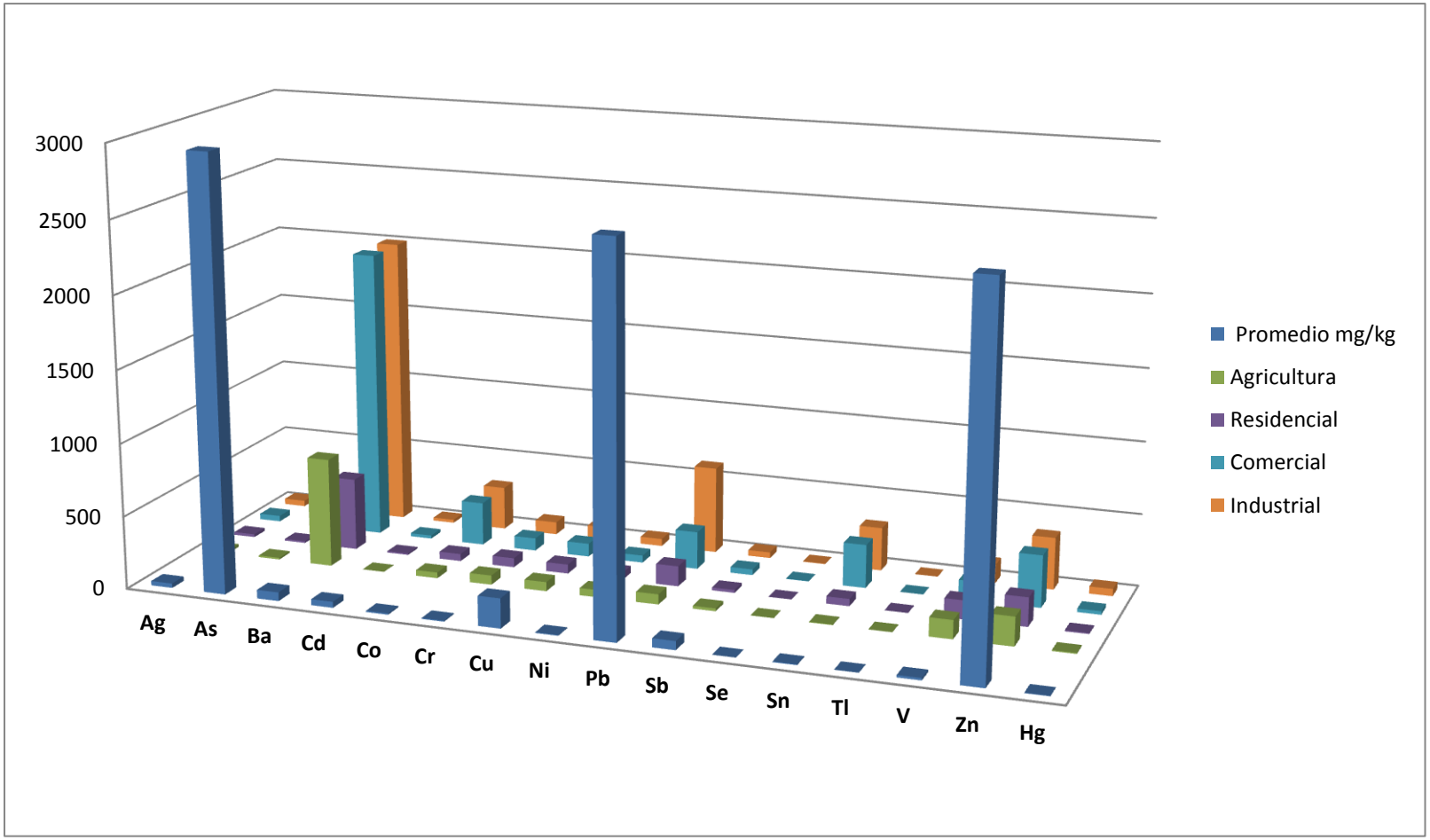


Gráfico N° 02: Concentración de metales pesados en el suelo de áreas contaminadas con el relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas y los Estándares de Calidad Ambiental Canadiense para los cuatro usos de suelo

Tabla N° 09. Correlación de los metales pesados en suelo

Metal pesado	Ag	As	Cd	Cu	Pb	Sb	Sn	Zn
Ag		0.98	0.99	1.0	0.98	0.98	1.0	1.0
As	0.98		1.0	0.96	0.94	1.0	0.98	1.0
Cd	1.0	1.0		0.98	0.96	1.0	1.0	1.0
Cu	1.0	0.96	0.98		1.0	0.96	1.0	0.98
Pb	0.98	0.94	0.96	1.0		0.93	0.99	0.96
Sb	0.98	1.0	1.0	0.96	0.93		0.98	1.0
Sn	1.0	0.98	1.0	1.0	0.99	0.98		1.0
Zn	1.0	1.0	1.0	0.98	0.96	1.0	1.0	
	Coeficiente de correlación							

La concentración de metales pesados en las muestras de suelos recolectada de diferentes puntos de muestreo tuvo una correlación positiva (tabla N° 09) y una alta correlación que oscila entre los valores de r=0.93 a r= 1.0, para los diferentes metales pesados en las especies vegetales de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

4.2. La concentración de metales pesados en las raíces y en la parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno (Baker, 1981; Barceló y Poschenrieder, 2003;). La absorción de metales pesados del suelo se produce de forma pasiva con el flujo de masa del agua en las raíces, o a través del transporte activo que cruza la membrana plasmática de las células epidérmicas de la raíz.

Las concentraciones de metales en las plantas que crecen en suelos no contaminados son 0.3-18.8 mg/kg, 1.1-33.1 mg/kg, y 6-126 mg/kg de Pb, Cu y Zn, respectivamente, mientras que las concentraciones más altas de metales en las plantas que crecen en suelos contaminados son 1 506 mg/kg, 1 123 mg/kg y 710 mg/kg de Pb, Cu y Zn, respectivamente (Kabata y Pendias, 2001).

En el presente estudio, se colectaron tres especies vegetales diferentes del RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas, se obtuvieron estas muestras de diferentes flancos del RM.

Tabla N° 10. Concentraciones de Ag en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	3.121	0.41	4.645
Schinus molle	12.82	3.18	0.74
Cortaderia rudiuscula	75.8	47.18	1.05

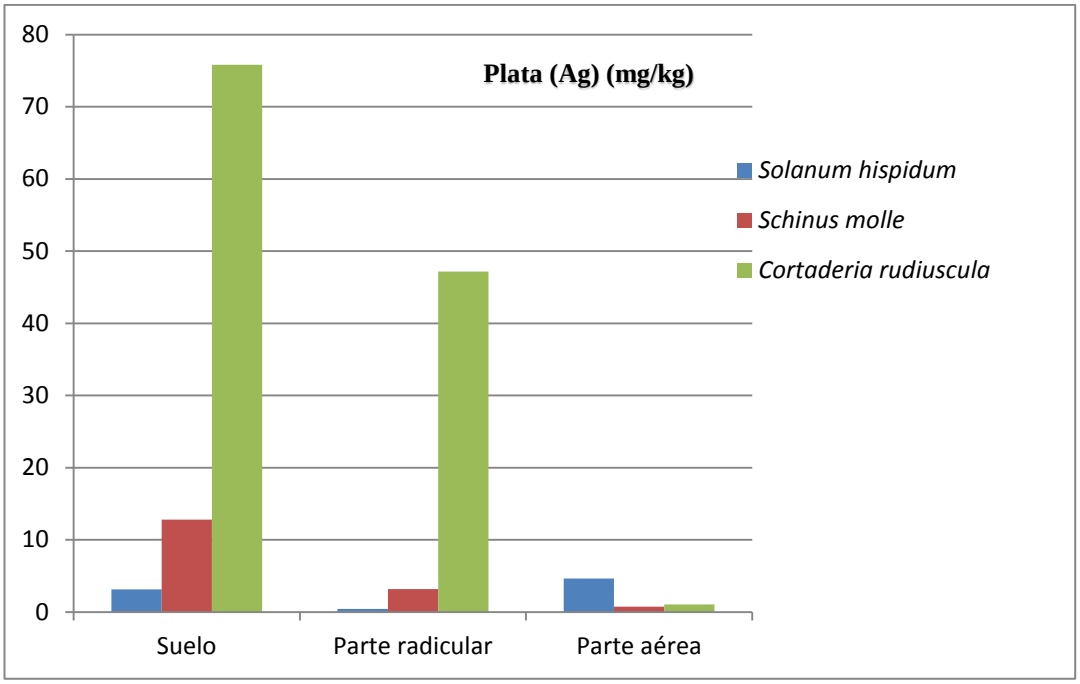


Gráfico N° 03: Concentración de Ag en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Ag totales en las plantas van de 0.41 mg/kg a 47.18 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la parte radicular (raíz) de *Cortaderia rudiuscula*. (Tabla N°10).

En el 89% de las muestras de plantas, las concentraciones de Ag en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Ag en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de la Ag de las raíces a la parte aérea y una relativa inmovilización de metales pesados en las raíces.

Tabla N° 11. Concentraciones de As en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	1590	505.7	5231.25
Schinus molle	1305.1	303.8	12.3
Cortaderia rudiuscula	6000	2228	21.7

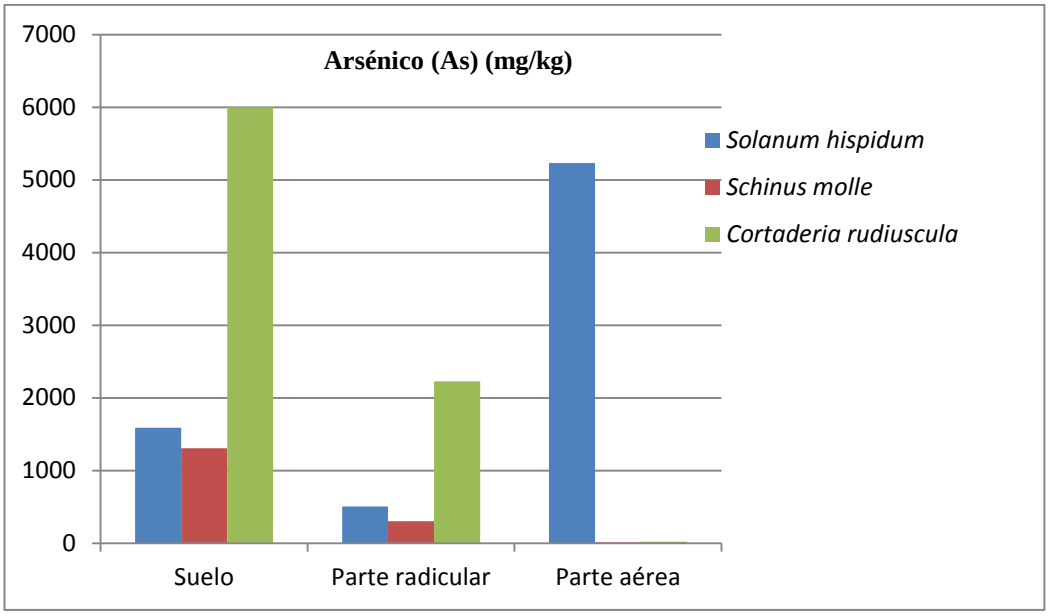


Gráfico N° 04: Concentración de As en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de As totales en las plantas van de 12.3 mg/kg a concentraciones mayores de 5 231.25 mg/kg y pertenece el máximo valor a la parte aérea del *Solanum hispidum* (tabla N° 11).

En el 63% de las muestras de plantas, las concentraciones de As en la parte aérea fueron mayores que las concentraciones de As en la parte radicular de la planta, lo que indica una movilidad alta de As de las raíces a la parte aérea de las plantas y la movilización de metales pesados en raíces.

Tabla N° 12. Concentraciones de Cd en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	15.64	2.415	12.975
Schinus molle	16.33	4.43	1.54
Cortaderia rudiuscula	91.72	50.07	6.63

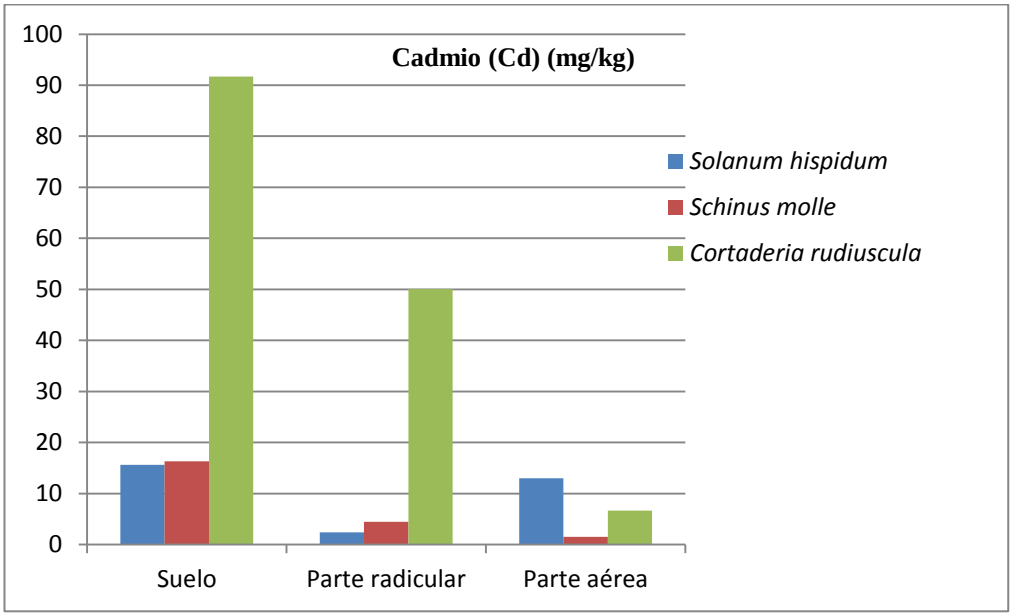


Gráfico N° 05: Concentración de Cd en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Cd en las plantas van de 1.54 mg/kg a 50.07 mg/kg, y pertenece el máximo valor a la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 12).

En el 73% de las muestras de plantas, las concentraciones de Cd en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Cd en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Cd de las raíces a la parte aérea de la planta.

Ninguna de las tres especies de vegetales (*Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*) acumuló Cd a concentraciones mayores de 1 000 mg/kg en la parte aérea, por lo que no son calificadas como hiperacumuladoras (Baker *et al*, 2000).

Tabla N° 13. Concentraciones de Cu en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	50.95	10.48	92.52
Schinus molle	134.52	94.41	23.22
Cortaderia rudiuscula	426.99	200.51	14.05

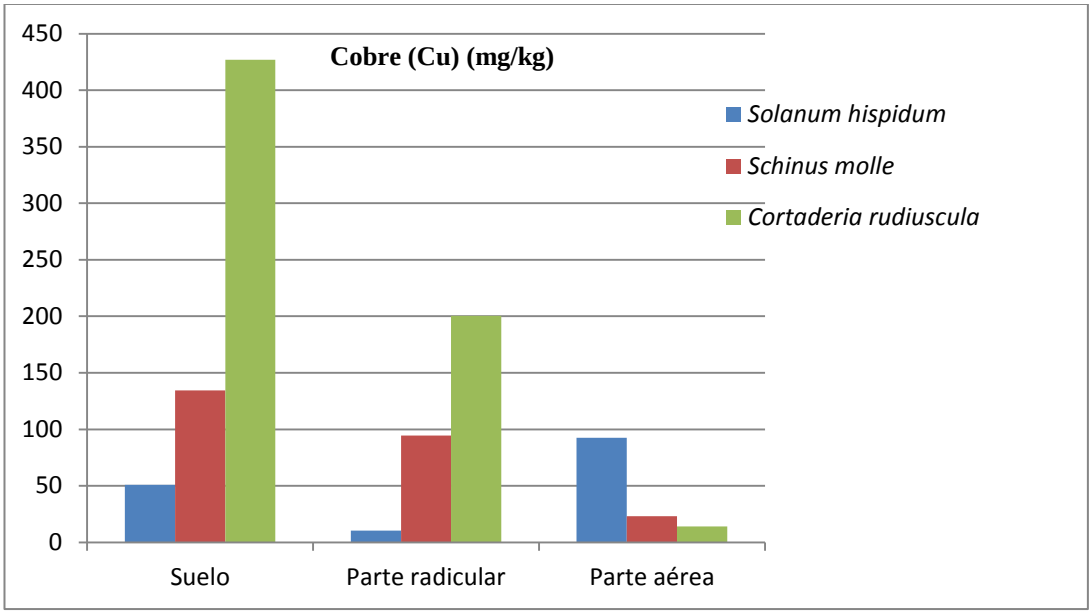


Gráfico N° 06: Concentración de Cu en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Cu en las plantas van de 10.48 mg/kg a 200.51 mg/kg, y pertenece el máximo valor a la raíz de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 13).

Ninguna de las tres especies de vegetales (*Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*) acumuló Cu a concentraciones mayores de 1 000

mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerada una hiperacumuladora (Baker y Brooks, 1989).

En el 70% de las muestras de plantas, las concentraciones de Cu en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Cu en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Cu de las raíces a la parte aérea de las plantas y una inmovilización de metales pesados en las raíces.

Tabla N° 14. Concentraciones de Pb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	772.3	58.47	1039.54
Schinus molle	2066.61	452.97	13.34
Cortaderia rudiuscula	5000	3752.11	168.88

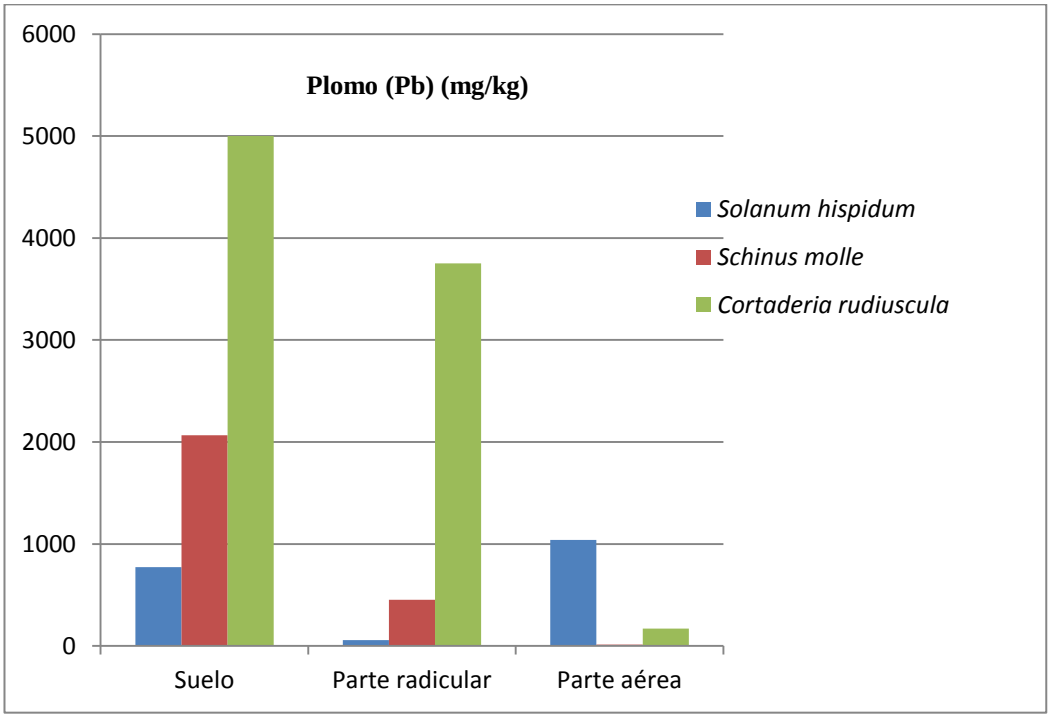


Gráfico N° 07: Concentración de Pb en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Pb en las plantas van de 13.34 mg/kg a 3 756.11 mg/kg, y pertenece el máximo valor en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 14). Ninguna de las tres especies de vegetales (*Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*) acumuló Pb a concentraciones mayores de 1 000 mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerada una hiperacumuladora (Baker y Brooks, 1989).

En el 78% de las muestras de plantas, las concentraciones de Pb en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Pb en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Pb de las raíces a la parte aérea y una relativa inmovilización de metales pesados en raíces.

Tabla N° 15. Concentraciones de Sb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	24.9	9.8	361.3
Schinus molle	15.8	5.5	0.2
Cortaderia rudiuscula	142.8	113.1	2.6

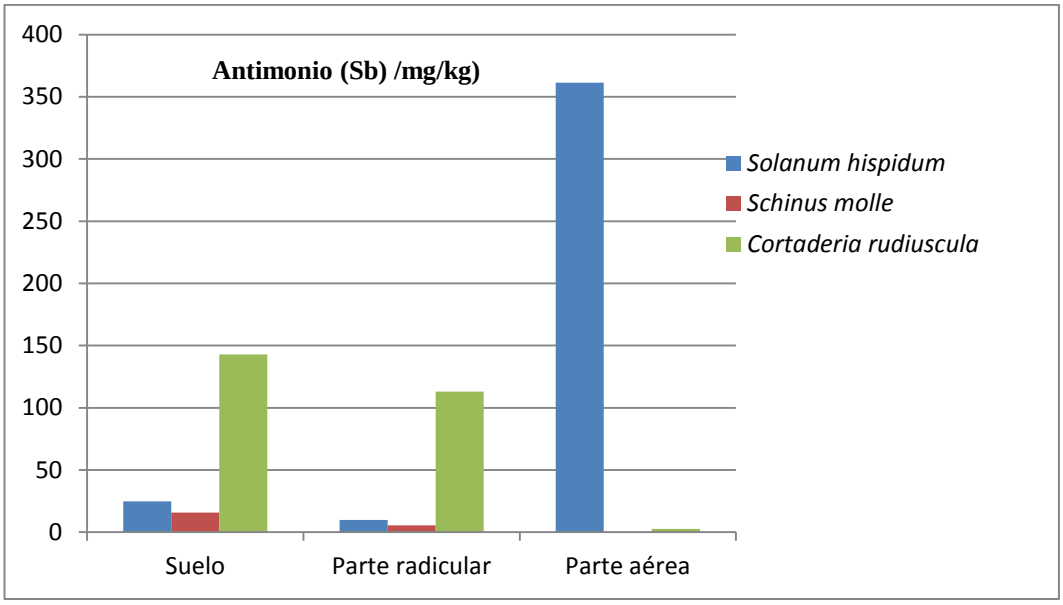


Gráfico N° 08: Concentración de Sb en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Sb en las plantas van de 0.2 mg/kg a 361.3 mg/kg, y pertenece el máximo valor a la parte aérea de *Solanum hispidum* (tabla N° 15).

En el 74% de las muestras de plantas, las concentraciones de Sb en la parte aérea fueron mayores que las concentraciones de Sb en la parte radicular de la planta, lo que indica una alta movilidad de Sb de las raíces a la parte aérea de las plantas y la movilización de Sb de las raíces a la parte aérea de la planta.

Tabla N° 16. Concentraciones de Sn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	1.7	0.8	2.2
Schinus molle	3.1	1.1	0.5
Cortaderia rudiuscula	11	5.8	0.5

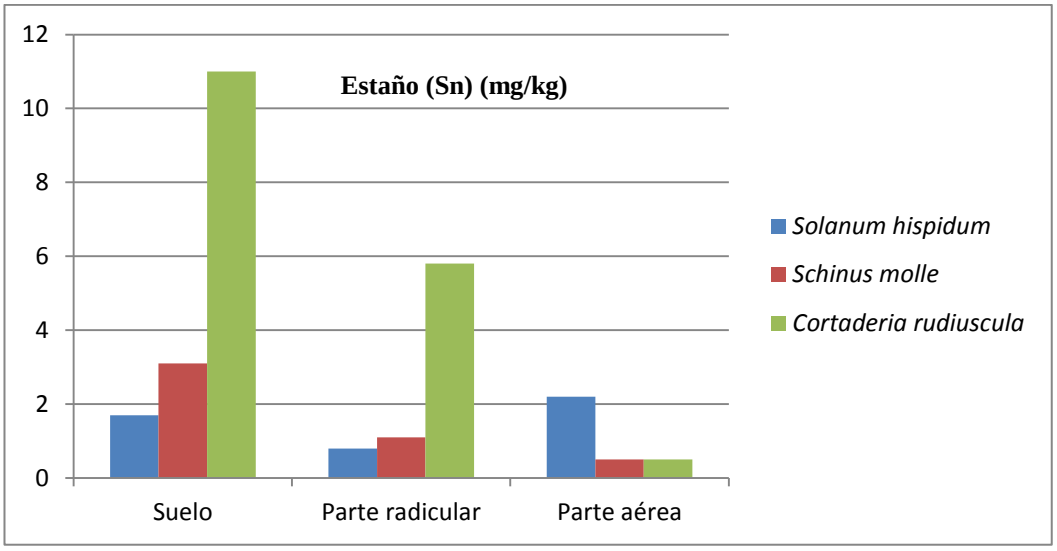


Gráfico N° 09: Concentración de Sn en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Sn en las plantas van de 0.5 mg/kg a 5.8 mg/kg, y pertenece el máximo valor a la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 16).

En el 71% de las muestras de plantas, las concentraciones de Sn en la parte radicular fueron mayores que las concentraciones de Sn en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Sn de las raíces a la parte aérea de las plantas.

Tabla N° 17. Concentraciones de Zn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Nombre Científico	Suelo	Parte radicular	Parte aérea
Solanum hispidum	1254	155.6	1084.15
Schinus molle	1394.6	459.7	240.3
Cortaderia rudiuscula	5000	3292	533.7

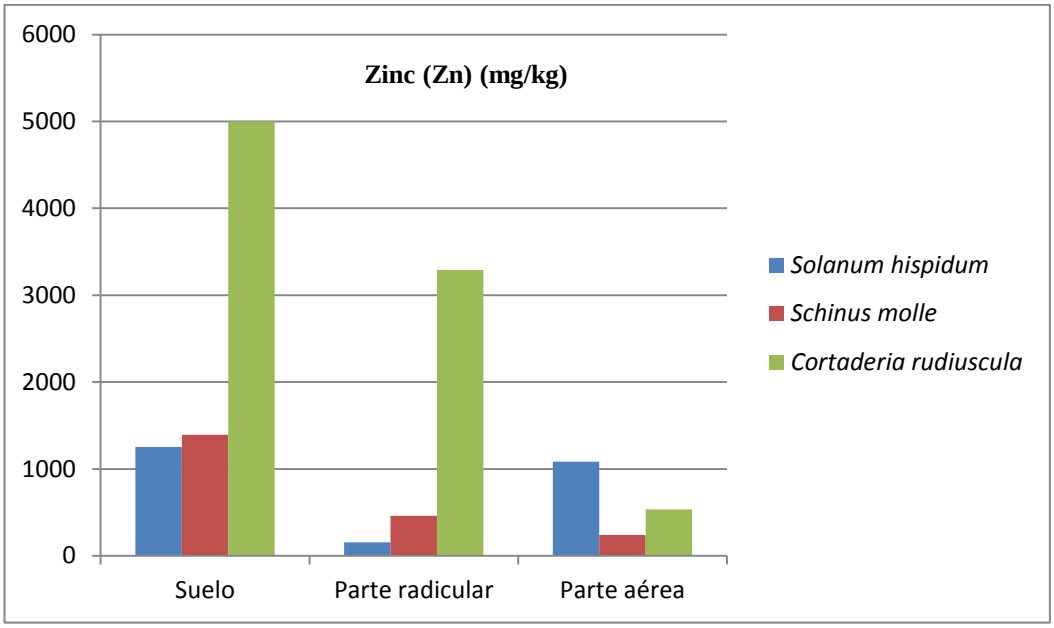


Gráfico N° 10: Concentración de Zn en el suelo, parte radicular y parte aérea de las plantas de áreas contaminadas con el RM de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas

Las concentraciones de Zn en las plantas van de 155.6 mg/kg a concentraciones de 3 292 mg/kg, y pertenece el máximo valor en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 17).

En nuestro caso, ninguna de las tres especies vegetales acumuló Zn a concentraciones mayores de 10 000 mg/kg en la parte aérea, por lo que no pueden ser consideradas plantas hiperacumuladoras.

En el 68% de las muestras de plantas, las concentraciones de Zn en la parte radicular fueron mayores que las concentraciones de Zn en la parte aérea de la planta, lo que indica una inmovilidad de Zn de las raíces a la parte aérea.

Tabla N° 18. Concentraciones de Al en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	708.75	561.75	5913.15
Schinus molle	75.3	882.1	5410
Cortaderia rudiuscula	86.4	1790.4	5737

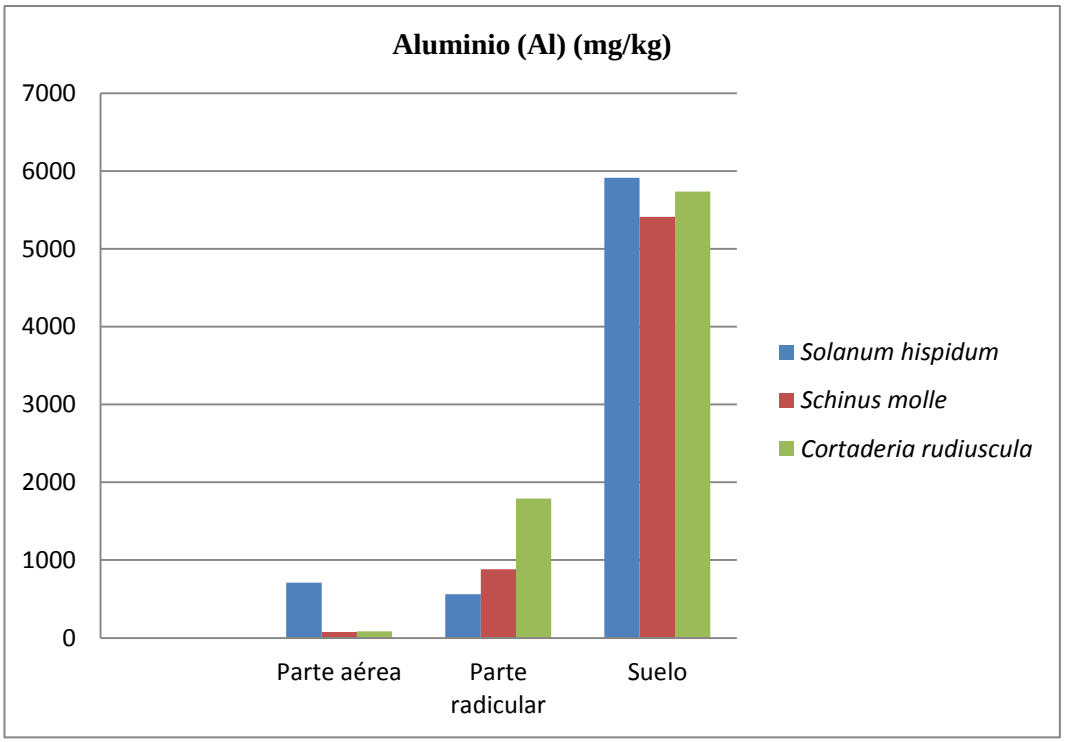


Gráfico N° 11: Concentración de Al en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

La concentración de Al en las tres especies vegetales fue relativamente alta, el porcentaje más alto de acumulación de Al fue en el suelo de *Solanum hispidum*, seguido de *Cortaderia rudiuscula* y finalmente en *Schinus molle*. En el 79% de las muestras de plantas, las concentraciones de Al en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Al en la parte aérea de las plantas, lo que indica una baja movilidad de Al de las raíces a la parte aérea y una

relativa inmovilización de metales pesados en las raíces. El efecto inicial del estrés por Al, es la inhibición del crecimiento radicular; además, la acumulación de Al indica que la sensibilidad al elemento ocurre en el ápice radicular; los mecanismos de resistencia a Al están confinados principalmente en el ápice de la raíz (Casierra y Aguilar, 2007).

Tabla N° 19. Concentraciones de Fe en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	16534.9	2222.35	20000
Schinus molle	254.4	5631.7	20000
Cortaderia rudiuscula	393	17912.4	20000

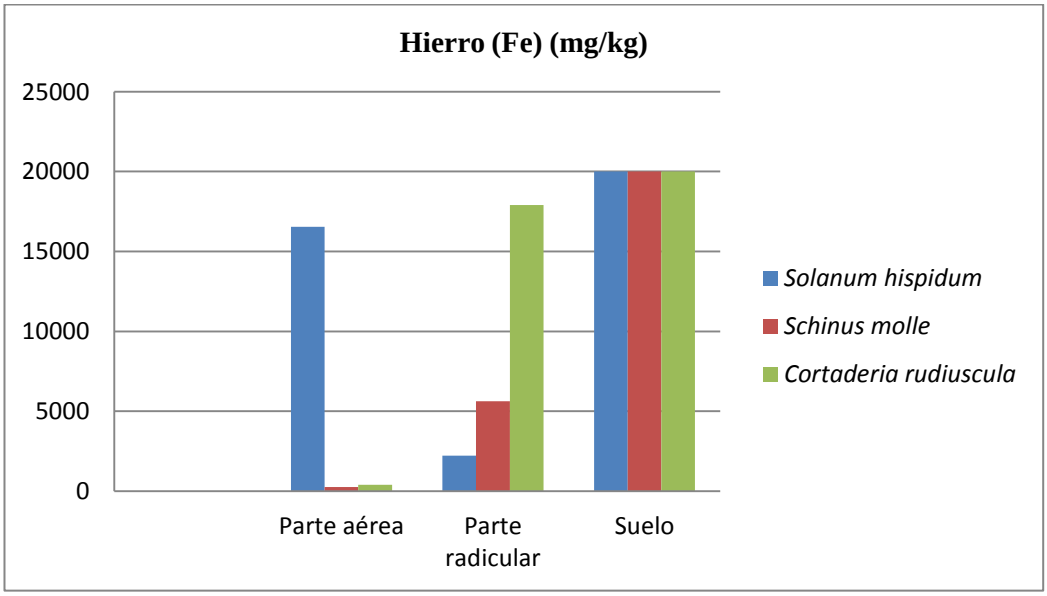


Gráfico N° 12: Concentración de Fe en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

La concentración mayor de Fe se tuvo en el suelo de las tres especies vegetales en estudio.

Tabla N° 20. Concentraciones de Mn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	1392.36	120.41	1516.695
Schinus molle	206.86	174.43	1093.67
Cortaderia rudiuscula	210.58	1550.16	2000

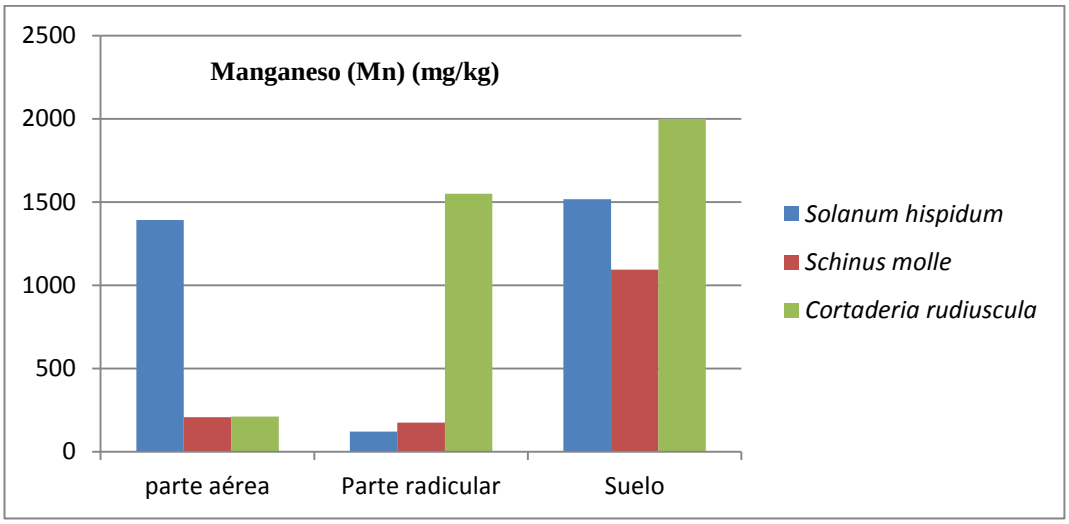


Gráfico N° 13: Concentración de Mn en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

El porcentaje más alto de la concentración de Mn fue en el suelo de la especie vegetal *Cortaderia rudiuscula*.

Tabla N° 21. Concentraciones de Mg en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	3389.95	996.57	3472.85
Schinus molle	6136.9	2975.4	3135.1
Cortaderia rudiuscula	730.7	684	1846.8

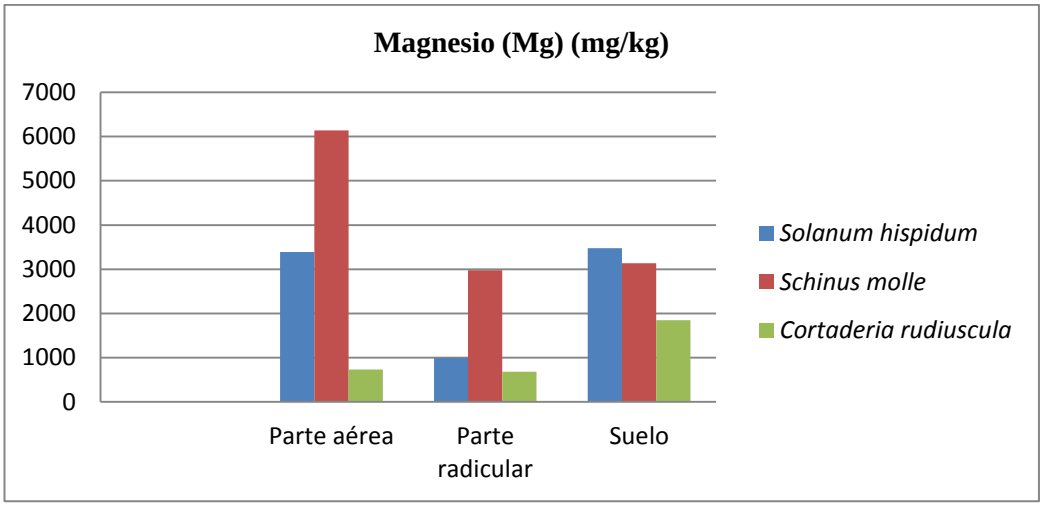


Gráfico N° 14: Concentración de Mg en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

La concentración más alta de Mg se observó en la parte aérea de *Schinus molle*.

Tabla N° 22. Concentraciones de K en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	15086.45	8205.1	703.8
Schinus molle	12894.4	12423.3	933
Cortaderia rudiuscula	8655.3	4372.6	1790

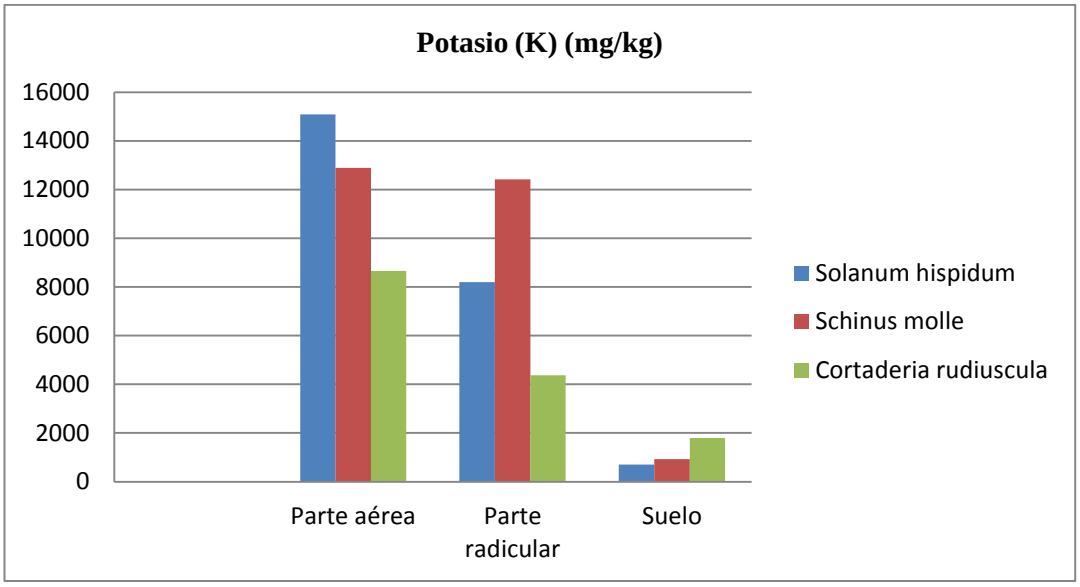


Gráfico N° 15: Concentración de K en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

La concentración más alta de K fue en la parte aérea de *Solanum hispidum*, lo que nos indica que el K en un elemento móvil ya que se pudo trasladar de la raíz a la parte aérea de la planta.

Tabla N° 23. Concentraciones de P en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	2021.6	734.15	1014.75
Schinus molle	1646.6	1484.4	992.7
Cortaderia rudiuscula	362.6	409.9	640.5

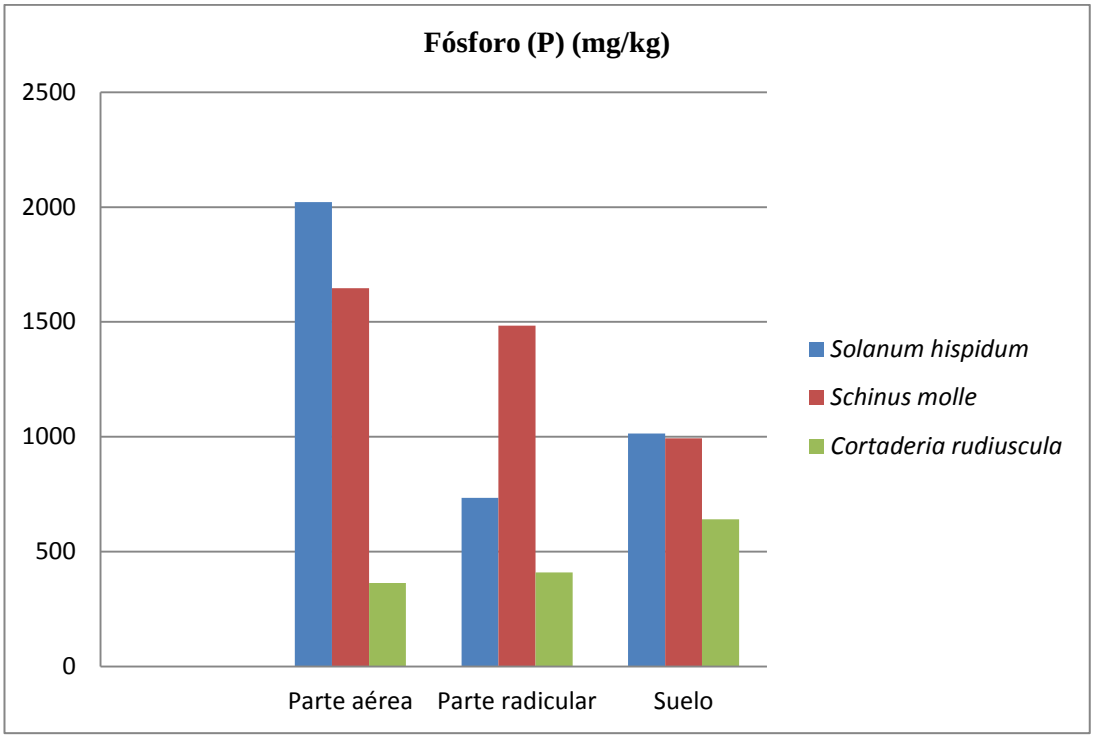


Gráfico N° 16: Concentración de P en el suelo, parte radicular y parte aérea en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

El valor más alto que se mostró en el elemento P fue en la parte aérea de *Solanum hispidum*.

Tabla N° 24. Concentraciones de Ca en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

Metales (mg/kg)	Parte aérea	Parte radicular	Suelo
Solanum hispidum	15770.85	12363.85	20647.15
Schinus molle	20595.7	28053.4	25314.8
Cortaderia rudiuscula	2564.4	4439.8	20785.4

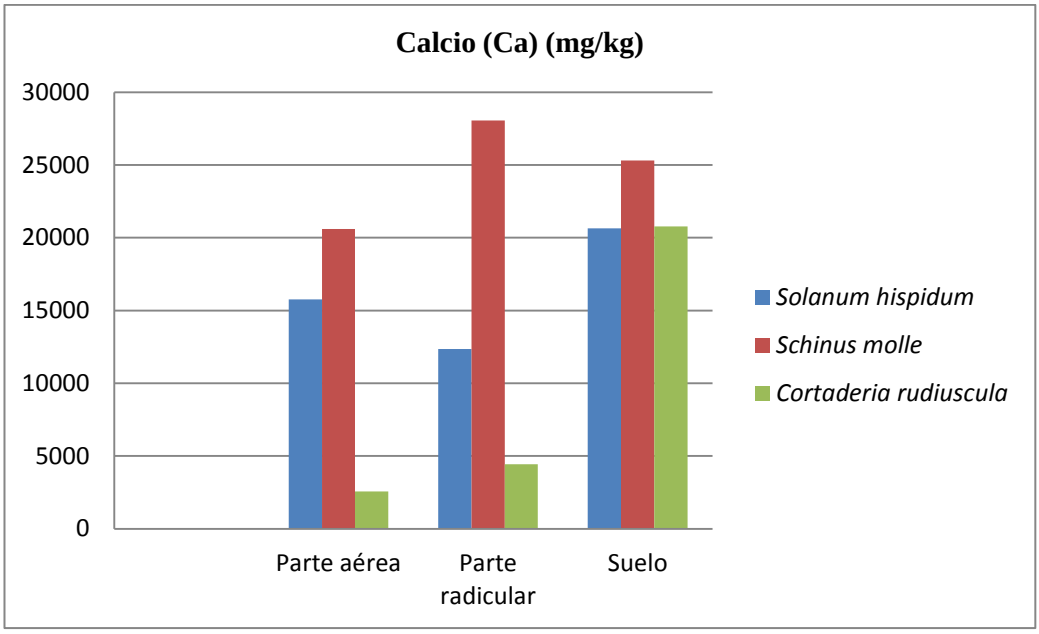


Gráfico N° 17: Concentración de Ca en el suelo, parte radicular y parte aérea en en *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*

La concentración más alta de Ca se pudo observar en la parte radicular de *Schinus molle*.

Tabla N° 25: Metales pesados en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* (mg/kg)

Metal	Deficiente	Normal	Fitotóxico	*S. hispidum* parte aérea mg/kg	*S. molle* parte aérea mg/kg	*C. rudiuscula* parte aérea mg/kg
Cadmio	No esencial	0.05 a 1	5 a 700	12.975	1.54	6.63
Cobre	1 a 5	3 a 30	20 a 100	92.52	23.22	14.05
Fierro	40 a 150	30 a 300	500 a 1000	16534.9	254.4	393
Plomo	No esencial	0.5 a 10	30 a 300	1039.54	13.34	168.88
Zinc	10 a 20	10 a 150	100 a 1500	1084.15	240.3	533.7

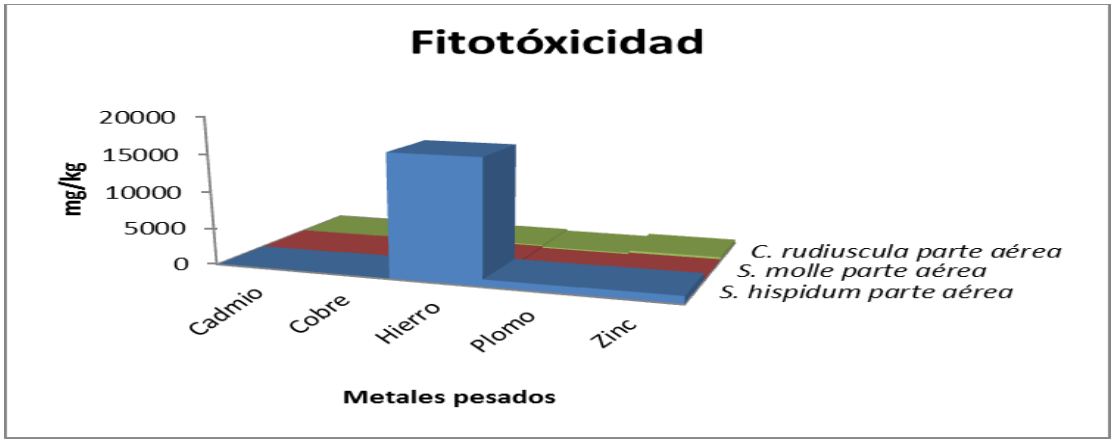


Gráfico N° 18: Metales pesados en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* (mg/kg)

En general, los cinco metales pesados se produjeron en niveles elevados en la biomasa de plantas recolectadas en los sitios de la investigación, el *Solanum hispidum* concentró mayor cantidad de Cd (12.97), Cu (92.52 mg/kg), Fe (16534.9), Pb (1039.54) y Zn (1084.15) en la parte aérea que en *Cortaderia rudiuscula* y *Schinus molle*.

Esta especie mostró concentración de metales pesados superiores a los fitotóxicos. Estos resultados pueden indicar que el *Solanum hispidum* crece en áreas contaminadas con el RM Santa Rosa de Jangas y que fue tolerante a estos metales pesados.

La restricción de movimiento de los metales pesados de las raíces a la parte aérea de las plantas puede ser considerada como uno de los mecanismos de tolerancia (Shaw, 1998).

Tabla N° 26: Factor de bioconcentración en la parte radicular de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Especie vegetal	FBC parte Radicular																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	0.13	0.1	0.32	2.66	0.19	0.05	0.599	0.15	0.06	0.08	0.12	0.21	0.111	1.00	11.66	1.73	0.29	0.08	0.28	3.81	0.11	0.72	0.08	0.39	3.00	0.47	0.81	0.61	0.42	0.06	0.12
Schinus molle	0.25	0.16	0.23	28.7	0.19	0.07	1.108	0.27	0.14	0.14	0.63	0.7	0.282	1.00	13.32	0.23	0.95	0.16	0.76	5.85	0.16	1.5	0.22	0.35	1.00	0.35	1.56	0.55	0.5	0.13	0.33
Cortaderia rudiuscula	0.62	0.31	0.37	1.00	0.45	0.19	0.214	0.55	0.43	0.62	1.36	0.47	0.896	0.01	2.443	0.29	0.37	0.78	0.42	0.53	0.45	0.64	0.75	0.79	1.00	0.53	0.36	0.64	0.5	0.33	0.66

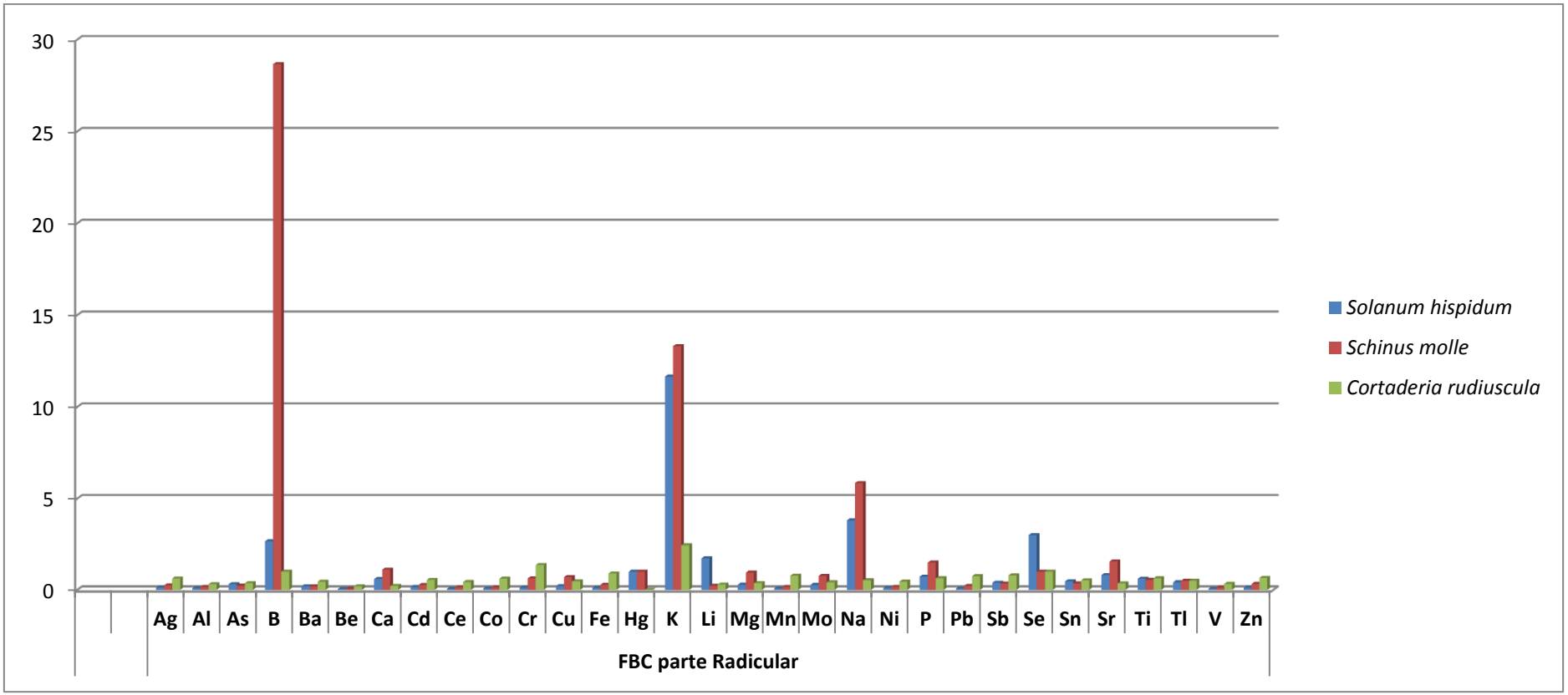


Gráfico N° 19: Factor de bioconcentración en la parte radicular de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Tabla N° 27: Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Especie vegetal	FBC parte Aérea																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	1.49	0.12	3.29	9.61	0.22	0.06	0.764	0.83	0.33	0.87	0.64	1.82	0.827	1	21.44	3.66	0.98	0.92	0.71	2.11	1.86	1.99	1.35	14.5	1	1.29	0.71	0.4	1.96	0.12	0.86
Schinus molle	0.06	0.01	0.01	196	0.05	0.07	0.814	0.09	0.01	0.01	0.06	0.17	0.013	1	13.82	0.77	1.96	0.19	0.12	1.51	0.2	1.66	0.01	0.01	1	0.16	1.26	0.07	0.5	0	0.17
Cortaderia rudiuscula	0.01	0.02	0	21.3	0.04	0.08	0.123	0.07	0.02	0.02	0.16	0.03	0.02	0.01	4.835	0.04	0.4	0.11	0.3	0.24	0.1	0.57	0.03	0.02	1	0.05	0.13	0.02	0.19	0.01	0.11

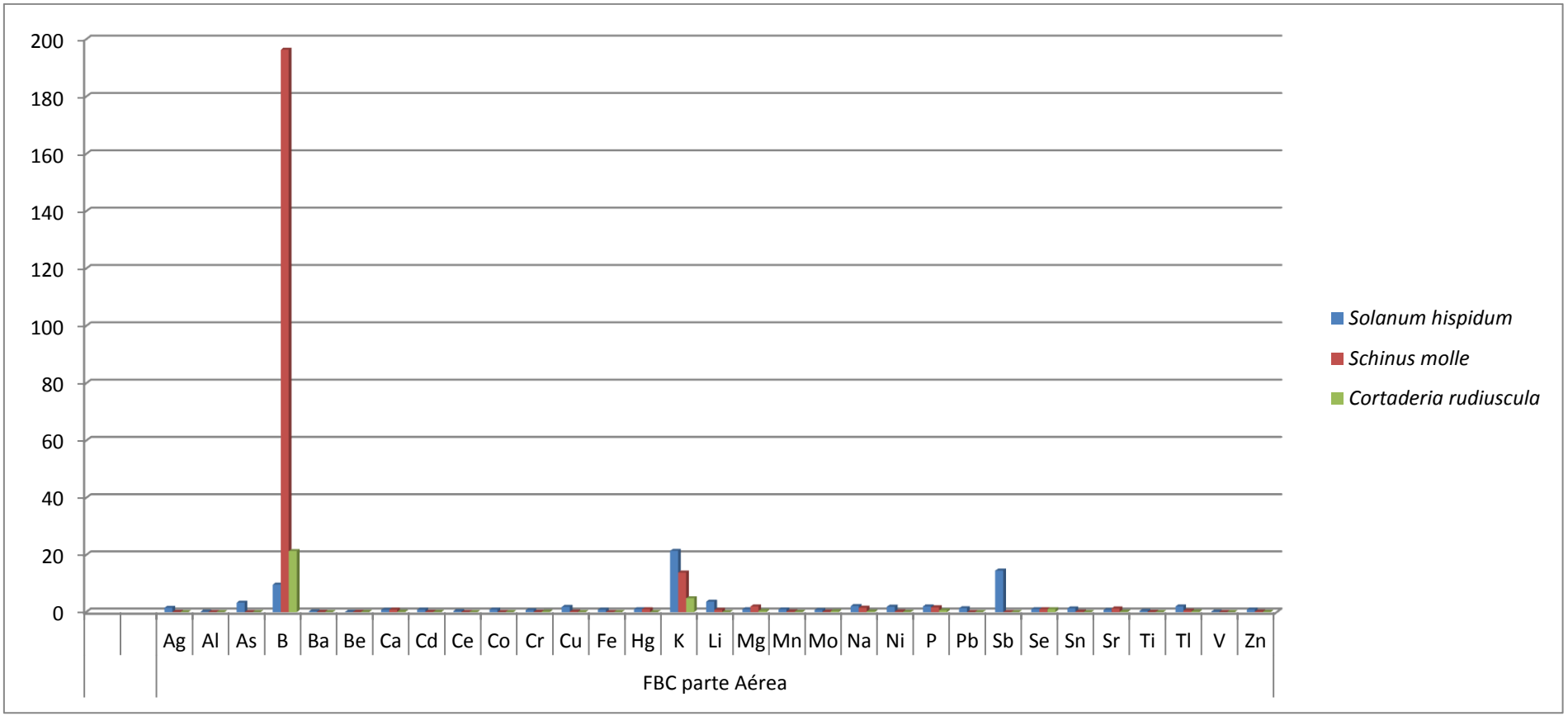


Gráfico N° 20: Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

Tabla N° 28: Factor de bioconcentración de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*.

Especie vegetal	FBC Planta																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	1.62	0.21	3.61	12.3	0.41	0.11	1.363	0.98	0.39	0.95	0.76	2.02	0.938	2.00	33.09	5.38	1.26	1.00	0.98	5.91	1.97	2.72	1.42	14.9	4.00	1.76	1.52	1.02	2.38	0.19	0.99
Schinus molle	0.31	0.18	0.24	225	0.24	0.13	1.922	0.37	0.15	0.15	0.69	0.87	0.294	2.00	27.14	1.00	2.91	0.35	0.88	7.36	0.36	3.15	0.23	0.36	2.00	0.52	2.81	0.62	1.00	0.14	0.5
Cortaderia rudiuscula	0.64	0.33	0.37	22.3	0.49	0.27	0.337	0.62	0.45	0.63	1.52	0.5	0.915	0.01	7.278	0.33	0.77	0.88	0.72	0.77	0.56	1.21	0.78	0.81	2.00	0.57	0.49	0.66	0.69	0.34	0.77

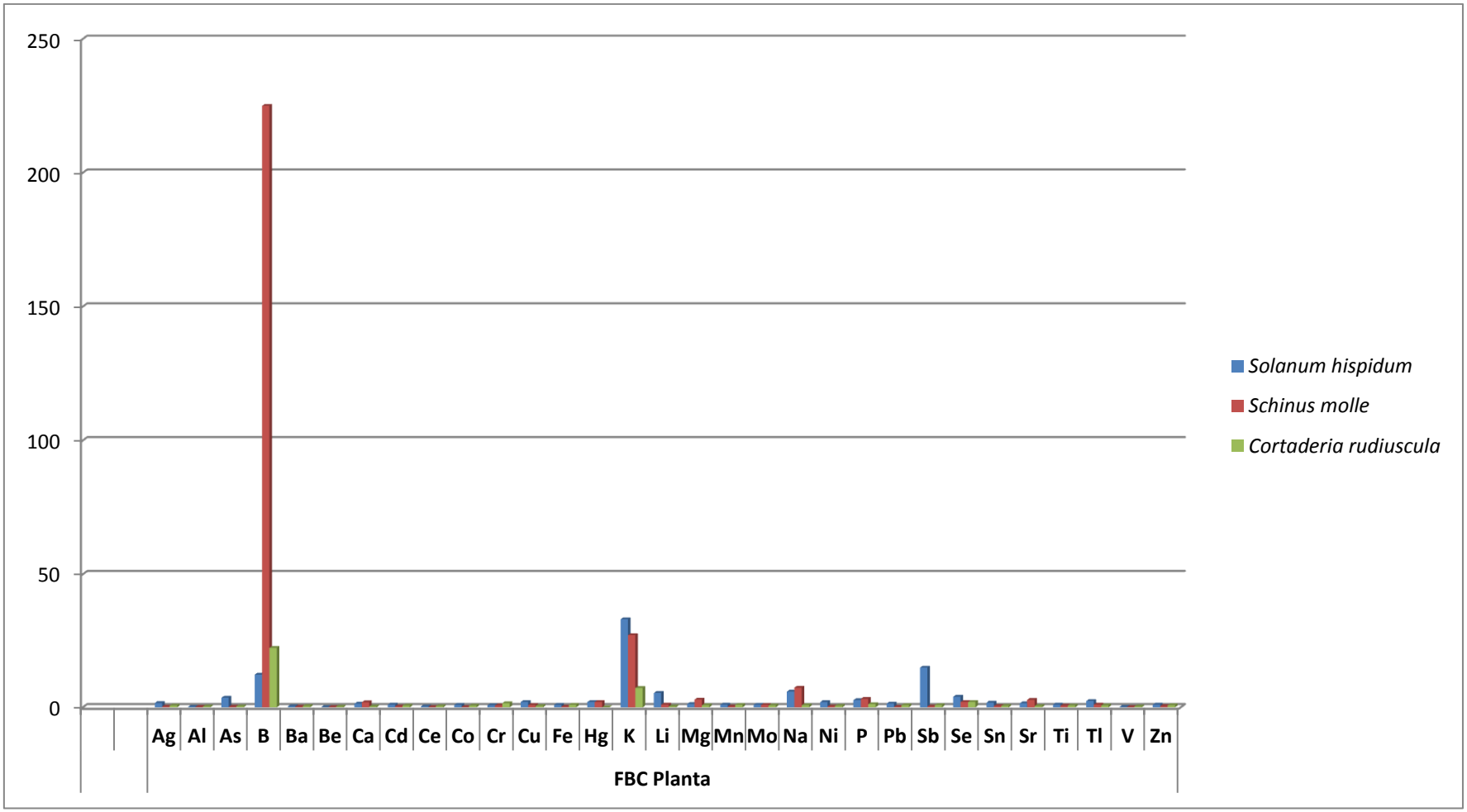


Gráfico N° 21: Factor de bioconcentración en la parte aérea de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*

La capacidad de una planta para acumular metales pesados del suelo puede estimarse utilizando el FBC, en los diferentes coeficientes biológicos: el coefeciente de absorción biológico conocido también como FBCradicular que se define como la relación de la concentración de metal en las raíces entre la concentración de metal en el suelo. Además, fue considerado el factor de remediación conocido también como FBCaérea, que es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo. También fue considerado el FBCplanta, el cual se define como la concentración del metal en la planta entre la concentración del metal en el suelo.

En el caso de FBCradicular, los metales que se mostraron en mayor concentración fueron el B, K y Na en la especie vegetal de *Schinus molle*, con valores de 28.7, 13.32 y 5.85, respectivamente. *Solanum hispidum* presentó el K con un valor de 11.66, *Cortaderia rudiuscula* presentó valores de metales pesados menores a 2.5 de FBCradicular (tabla N° 26). En la especie vegetal de *S. hispidum* el K mostró un valor de 21.44 de FBCaérea y el Sb 14.5 de FBCaérea Sin embargo *Schinus molle* presenta el valor más alto entre las especies vegetales con una concentración de FBCaérea en B de 196 y *C. rudiuscula* presenta en B un valor de 21.3 de FBCaérea (tabla N° 27). En el caso de FBCplanta el valor más alto de B se obtuvo en *Schinus molle* con 225, seguido de K con 33.09 de FBCplanta en *Solanum hispidum* (tabla N° 28).

Tabla N° 29: Factor de traslocación de metales pesados totales en *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.*

Especie vegetal	FT																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	11.3	1.26	10.3	3.61	1.13	1.2	1.276	5.37	5.73	11.7	5.23	8.83	7.441	1.0	1.839	2.12	3.4	11.6	2.56	0.55	17.5	2.75	17.8	36.9	0.33	2.75	0.87	0.66	4.67	1.95	6.97
Schinus molle	0.23	0.09	0.04	6.85	0.26	1.0	0.734	0.35	0.09	0.06	0.09	0.25	0.045	1.0	1.038	3.39	2.06	1.19	0.15	0.26	1.3	1.11	0.03	0.04	1.0	0.45	0.81	0.12	1.0	0.04	0.52
Cortaderia rudiuscula	0.02	0.05	0.01	21.3	0.09	0.4	0.578	0.13	0.04	0.03	0.12	0.07	0.022	0.86	1.979	0.13	1.07	0.14	0.72	0.46	0.23	0.88	0.05	0.02	1.0	0.09	0.36	0.04	0.38	0.02	0.16

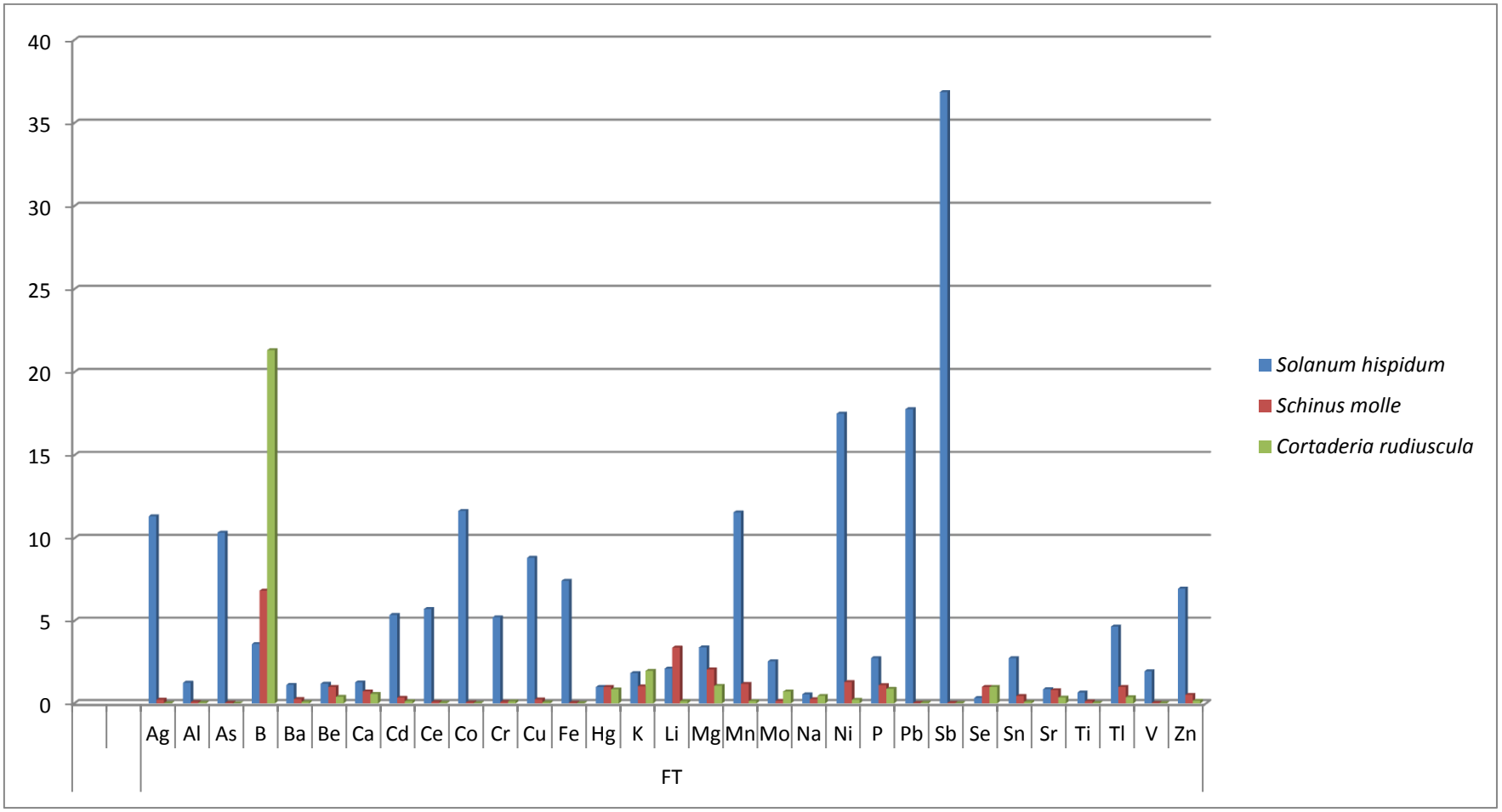


Gráfico N° 22: Factor de traslocación de metales pesados de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.*

La capacidad de una planta para trasladar metales de las raíces a su parte aérea se mide usando el FT, que se define como la relación de la concentración de metal en la parte aérea respecto a las raíces.

El enriquecimiento se produce cuando un contaminante absorbido por una planta no se degrada rápidamente, lo que resulta en una acumulación en la planta. El proceso de fitoextracción generalmente requiere la translocación de metales pesados a la parte cosechable de la planta, es decir, a su parte aérea. Comparando el FBC y FT, podemos descubrir la capacidad de las tres especies de plantas para tomar los metales de los suelos y translocarlos a la parte aérea. Las plantas tolerantes tienden a restringir las transferencias suelo - raíz y raíz - parte aérea, por lo que tienen mucho menos acumulación en su biomasa, mientras que las hiperacumuladoras participan activamente y traslocan los metales en su biomasa aérea.

Las plantas con FBC>1 y FT>1 son consideradas como acumuladoras o híper-acumuladoras (si las concentraciones exceden 0,1 %); las que presentan valores entre 0.1 y 1, respectivamente, son consideradas como tolerantes y las que presentan valores <0.1 se consideran como plantas exclusoras o excluyentes.

Las tres especies vegetales (*Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*) crecieron en un lugar donde fueron capaces de acumular metales pesados en las raíces, la mayoría de ellas alcanzaron valores altos del FT y valores bajos del FBC, lo que significa que tienen una capacidad de traslocar metales de la raíz a la parte aérea de la planta (tabla N° 29).

V. DISCUSIÓN

- La concentración de MPT en *Solanum hispidum* mostró un valor significativo en As, el cual supera 132 veces los ECAs para uso de suelos en sus cuatro categorías, con 1 590 mg/kg; el Cd con 15.64 mg/kg (supera 11 veces los ECAs para suelo agrícola), Pb 772.3 mg/kg (supera 11 veces los ECAs para suelo agrícola), Sb 24.9 mg/kg (supera 6 veces los ECAs para suelos agrícola y residencial)y Zn 1 254 mg/kg (supera 6 veces los ECAs para suelos agrícola y residencial y supera 3 veces para los cuatro usos de suelo), (tabla N° 05). Para *Schinus molle* los elementos que presentaron una elevada concentración de MPT fueron el As, el cual supera los ECAs con un valor de 1 305 mg/kg (supera 108 veces los ECAs en los cuatro usos de suelo), Cd con 16.33 mg/kg (supera 11 veces los ECAs para suelo agrícola), Cu con 134.3 mg/kg (supera 2 veces los ECAs para suelo de uso agrícola), Pb con 2 067 mg/kg (supera 29 veces los ECAs para suelo agrícola, 14 veces en suelo residencial y 7 veces en suelo comercial), (tabla N° 06). En *Cortaderia rudiuscula* la mayor

concentración de MPT se presentó en los elementos de Ag, As, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn, Hg, siendo los más significativos As con 6 000 mg/kg superando en 500 veces los ECAs para los cuatro usos de suelo, Cd con 91.72 mg/kg (supera 65 veces los ECAs para suelo agrícola), Tl con 46 mg/kg (supera 46 veces los ECAs para lo cuatro usos de suelo) y Zn 5 000 mg/kg (supera en 25 veces los ECAs para suelos agrícola y residencial), (tabla N° 07). Por otro lado, se constató en el trabajo de investigación realizado "Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros", que la elevada concentración de metales pesados y metaloides contenidos en el RM superan los ECAs para suelos a nivel nacional e internacional en sus tres categorías (agrícola, residencial y comercial) ; por ejemplo para suelos agrícolas: el Sb supera en 15 veces (298.1 mg/kg), As en 44 veces (2 202.0 mg/kg), Cd en 26 veces (36.52 mg/kg), Cu en 87 veces (5 460.5 mg/kg), Ag en 3 veces (61.6 mg/kg) y Pb en 42 veces (2 933.5 mg/kg), (Paredes, 2015). Así mismo, en el trabajo de investigación "Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiuscula* Stapt, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza Ancash-2013", la especie vegetal *Cortaderia rudiuscula* Stapf presentó valores de Cu y Zn que superan el límite del ECA para suelo agrícola, llegando hasta 223 mg/kg y 559 mg/kg respectivamente, (Medina y Montano, 2014), sin embargo, estos valores son menores a los obtenidos en el presente trabajo de investigación. Para el caso de *Juncus articus* Willd las concentraciones

de Cd, van de 4 mg/kg a 12 mg/kg y para la *Cortaderia rudiuscula* Stapf, es de 1.4 mg/kg llegando a superar 8 veces más el ECA, mientras que para el Pb las concentraciones van de 1 296 mg/kg a 2 646 mg/kg para *Juncus articus* Willd para la *Cortaderia rudiuscula* Stapf, llegando a sobrepasar de 18 a 37 veces más el ECA de 70 mg/kg para suelo agrícola, (Medina y Montano, 2014).

- En los elementos como el Cd, Pb y Zinc los valores más altos se presentaron en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* 50.07 mg/kg, 3 752.11 mg/kg y 3 292 mg/kg, respectivamente, (tablas N° 12, 14 y 17). Estos valores son mayores a los encontrados en *Solanum nitidum,* especie estudiada en el trabajo de investigación "Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados", los mayores valores de acumulación de Pb, Zn y Cd fueron obtenidos en la raíces de las plantas crecidas en RM y acumularon 576 mg/kg MS de Pb, 31.4 mg/kg MS de Zn y 8.7 mg/kg MS de Cd. (Jara *et al*, 2013). En *Brassica rapa*, los mayores valores de acumulación de Pb, Zn y Cd fueron obtenidos en las raíces. La especie acumuló 758.8 mg/kg MS de Pb, 550 mg/kg MS de Zn y 4.9 mg/kg MS de Cd. (Jara *et al*, 2013). En *Fuertesimalva echinata*, los mayores valores de acumulación de Pb, Zn y Cd fueron obtenidos también en las raíces, acumularon 2 015.1 mg/kg MS de Pb, 1 024.2 mg/kg MS de Zn y 11 mg/kg MS de Cd. De todas las especies altoandinas evaluadas, esta especie posee la mayor eficacia de fitoextraer y acumular Pb y Zn; éstas características ameritan considerarla

como una especie fitorremediadora de suelos contaminados con estos elementos (Jara *et al*, 2013).

- Las concentraciones de Cd en las plantas van de 1.54 mg/kg a 50.07 mg/kg; y el máximo valor pertenece a la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula* (tabla N° 12). En el trabajo de investigación "Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados", el valor encontrado para Cd fue de 3 000 mg/kg en la especie vegetal *Thlaspi caerulescens,* (Ortega *et al*, 2009), valor que supera a las concentraciones de Cd obtenidas en las especies vegetales de *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*.
- Las concentraciones de Cu en tres especies vegetales van de 10.48 mg/kg a 200.51 mg/kg, y el máximo valor pertenece a la raíz de *Cortaderia rudiuscula,* (tabla N° 13) los valores obtenidos son bajos en comparación con el valor encontrado en la especie vegetal *H. katangense* con una concentración de 8 356 mg/kg de Cu en MS (Ortega *et al*, 2009).
- Las concentraciones de Pb en las plantas van de 13.34 mg/kg a 3 756.11 mg/kg; y el máximo valor se da para la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula*, (tabla N° 14). El valor encontrado para Pb fue de 8 200 mg/kg en la especie vegetal *Thlaspi rotundifolium,* (Ortega *et al*, 2009), valor que supera a las concentraciones de Pb obtenidas en el presente estudio.
- Las tres especies de plantas mostraron un FBCradicular menor a uno para Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, Tl, V y Zn de 0.05 a 0.95 (tabla N° 26); estas concentraciones son muy bajas por lo que *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia*

rudiuscula para estos elementos son consideradas como plantas excluyentes. Sin embargo, se encontró datos en el trabajo de investigación "Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fitorremediación" de las especies *Echinochloa colona* que presentó valores de FBC de 8.2, en Cr, *Digitaria sanguinalis* tuvo un FBC de 26.8 en Cr y 3.2 en Zn e *Hyptis alata* presentó un FBC de 2.1 en Co, lo que las califica como acumuladoras, (Mendieta y Taisigüe, 2014).

- El *Schinus molle* se presenta como planta hiperacumuladora, ya que presenta un FBCradicular de 28.7 y 13.32 en B y K respectivamente y FT de 6.85 en B y 1.03 en K. En el caso de la especie vegetal *Steinchismalaxum*, se obtuvo un valor de FBC de 29.9 para Se; por eso se la considera considera como planta hiperacumuladora para este elemento, (Mendieta y Taisigüe, 2014).
- En *Schinus molle* se obtuvo valores de FBCradicular de 1.1, 1.0, 5.85, 1.5, 1.0 y 1.56 en Ca, Hg, Na, P, Se y Sr, respectivamente, valores que sobrepasan a 1.00, por lo tanto esta especie es considerada como acumuladora para estos elementos; del mismo modo el FT presenta valores mayores a 1.00 en Be, Hg, Li, Mg, Ni, P, Se y Tl. En la especie vegetal *Cortaderia rudiuscula* los valores de B, K y Se son 1.00, 2.4 y 1.00 respectivamente que califican a esta especie como acumuladora. Por otro lado, en el caso de *Paspalum conjugatum* presentó un valor de 1.4 de FBC para Hg, lo que la califica como planta acumuladora para este elemento, (Mendieta y Taisigüe, 2014). En las especies vegetales de *Paspalum*

conjugatum, Tripogandra serrulata, Digitaria sanguinalis, se mostraron valores mayores a uno de FBC en Se, lo que las califica como plantas acumuladoras de este elemento, (Mendieta y Taisigüe, 2014).

- En el caso del As, estas especies de plantas en su mayoría mostraron valores menores a uno y solo algunas tuvieron un FBC o FT mayores que uno de As; sin embargo el FT de *Solanum hispidum* fue 10.3, lo cual significa que la planta traslada eficazmente este elemento de la raíz a su parte aérea de la planta (tabla N° 29); el promedio de sus concentraciones de As en el suelo supera el ECA canadiense para los cuatro usos de suelo (tabla N° 08) llegando a valores que superan los 2 964 mg/kg, en el caso de la raíz y parte aérea, y alcanzó a tolerar concentraciones de 505.7 mg/kg y 5 231.25 mg/kg respectivamente (tabla N° 11). Se encontró en el trabajo de investigación "Evaluación de tres especies nativas del desierto Chihuahuense para uso en fitorremediación", que en las especies *E. macrostachya* y *S. americanus* los FBC y FT tmanifiestan un potencial para fitorremediación de áreas inundadas contaminadas con As (Núñez *et al*, 2007). En el caso del *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiuscula* Stapf mostraron valores menores a uno de FBC o FT para As, lo que las califica como plantas exclusoras, (Medina y Montano, 2014).
- Las tres especies mostraron FBC o FT menores que uno de Cd, pero solo el *Solanum hispidum* obtuvo un valor de 5.37 de FT (tabla N° 29), que nos indica que esta especie es eficaz trasladando el Cd de la raíz a la parte aérea de la planta. La concentración de Cd del suelo respecto al ECA canadiense sobrepasó el límite para los cuatro usos de suelo (tabla N° 08).

Por otro lado, en la parte radicular y la parte aérea llegó a tolerar valores de hasta 50.05 y 12.97 mg/kg respectivamente (tabla N°12). En las especies vegetales de *Tripogandra serrulata, Hyptis alata, Cyperus luzulae y Setaria liebmannii* se presentaron valores de FBC de 2.06, 1.80, 1.40 y 1.20 en Cd, respectivamente, y son calificadas como plantas acumuladoras de este elemento, (Mendieta y Taisigüe, 2014).

- Ninguna de las tres especies acumuló Cu en concentraciones >1000 mg/kg; solamente la especie *Solanum hispidum* mostró FBCaérea (tabla N° 27) mayor que uno y FT mayor que uno para el Cu (tabla N° 29). La concentración promedio de Cu en el suelo supera por 3 veces el ECA canadiense para los cuatro usos del suelo (tabla N°08) llegando a valores de 204.06 mg/kg y en el caso de la parte radicular y parte aérea, toleran concentraciones de 200.51 y 92.5 mg/kg respectivamente, (tabla N°13). En *Cyperus odorantus y Digitaria sangui*nalis se mostraron valores de FBC de 1.1 y 1.08 en Cu, respectivamente y son calificadas plantas acumuladoras para Cu. (Mendieta y Taisigüe, 2014).
- *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* mostraron FBCradicular o FT en más del 85%, valores menores que uno de Pb, por lo que las calificas como plantas excluyentes para FBCradicular y para FT solo el *Solanum hispidum* muestra valores de 17.8 (tablas N° 26 y N° 29) y una concentración de 772.3 mg/kg de Pb (tabla N° 14), por lo que esta especie vendría a ser una planta eficaz trasladando Pb de la raíz a la parte aérea, lo que indica una buena relación de suelo - raíz (bioconcentración) y raíz - parte aérea (traslocación) del Pb.

- Se acumuló Zn en concentraciones de 1 254 mg/kg a 5 000 mg/kg en el suelo (tabla N° 17) y una concentración 3 292 mg/kg en la raíz de *Cortaderia rudiuscula* y 1 084.15 mg/kg en la parte aérea de *Solanum hispidum*, (tabla N° 17); se obtuvo valores de FBCradicular menores a uno en las tres especies vegetales y un FT de 6.97 (tablas N° 26 y N° 29), lo que indica una buena relación de suelo - raíz (bioconcentración) y raíz - parte aérea (traslocación) del Zn, es decir las concentraciones de Zn en las plantas van de 155.6 a concentraciones de 3 292 mg/kg, pues pertenece el máximo valor en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula*, valores más bajos que la concentración en MS de Zn (10 000 mg/kg) en la especie vegetal *Thalaspi Calaminare*, considerada como planta hiperacumuladora (Ortega et al, 2009). El *Juncus arcticus* Willd logró extraer Cd, Mn y Zn en las raíces de las plantas y traslocarlo a la parte aérea. Así mismo obtuvo un FBC alto y FT bajo, lo que indica que puede ser utilizado para fitoestabilizar sitios contaminados (Medina y Montano, 2014).
- Sobre la base de la FTs de cada especie de planta, el *Solanum hispidum* fue más eficiente que las otras dos en la traslocación de Sb (FT=36.9), seguido del Pb (17.8), Ni (17.5), Co (FT=11.7), Mn (FT=11.6), Ag (FT=11.3) y As (FT=10.3), mientras que la *Cortaderia rudiuscula* fue más eficiente que *Schinus molle* y *Solanum hispidum* en la traslocación de B (FT=21.3). Entre todos los metales pesados analizados, el *Solanum hispidum* es la especie vegetal más eficiente en traslocar Sb con un valor de 36.9 FT. Una baja translocación de Se en el *Solanum hispidum* indica que la planta no está dispuesta a transferir Se de sus raíces a sus brotes posiblemente

debido a la toxicidad del Se. Se encontró en los estudios realizados de "Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo de manera silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en la alimentación"que, en *Amaranthus dubius,* el FBplanta de K fue mayor y se observó bioconcentración de N, P, K, Mg, Ca y Cd en sus hojas; sin embargo, para Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr y Pb se obtuvo un FB<1. Las hojas presentaron mayor concentración que las raíces para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn (factor de transferencia, FT>1). Se alerta sobre la necesidad de un control de los elementos no esenciales que pueden presentarse en concentraciones no recomendadas para el consumo, tal como ocurrió con Cd, Al, Cr y Pb en las muestras colectadas (Olivares y Peña 2009).

- *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* acumulan concentraciones de Cd en las raíces y en la parte aérea más altas que las encontradas en el *Paspalum conjugatum, Hyptis alata, Tripogandra serrulata, Setaria liebmannii* y *Cyperusluzula*e, (Mendieta, y Taisigüe, 2014). Sin embargo, están consideradas como acumuladoras por presentar valores de FBC>1.
- Las especies vegetales de *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* no traslocan Pb de sus raíces a sus brotes. El plomo puede ser tóxico para la actividad fotosintética, la síntesis de la clorofila y enzimas antioxidantes (Kim *et al*, 2002).

VI. CONCLUSIONES

- Como las concentraciones de MPT en el suelo de *Solanum hispidum, Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula* mostraron valores significativos en Al, As, Ca, Fe, Mg, Mn, Pb y Zn, y la especie vegetal *Cortaderia rudiuscula* acumula las mayores concentraciones; y los elementos As, Pb y Zn superan las directrices canadienses y los valores que presentan Al, Fe y Mn son altos, entonces las especies vegetales *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*, se deben de utilizar para la fitorremediación en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.
- Se pudo constatar que el 89% de la concentración de Ag en las muestras de plantas se localizó en la parte radicular de las plantas.
- Los metales pesados Ag, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Se, Sn, Tl, V y Hg presentes en el suelo de *Solanum hispidum* se encuentran dentro de los ECAs para los distintos usos de suelo, mientras que el As, Cd, Pb, Sb y Zn se encuentran por encima del límite de la directriz canadiense. Los elementos Ag, Ba, Co,

Cr, Ni, Sb, Se, Sn y V presentes en el suelo de *Schinus molle*, se encuentran dentro de los ECAs para los cuatro usos de suelo, mientras que el As, Cd, Pb, Tl, Zn y Hg se encuentran por encima del límite de la directriz canadiense. En el caso de *Cortaderia rudiuscula* los elementos Ba, Co, Cr, Ni, Se y V, presentes en el suelo se encuentran dentro de los ECAs para los suelos en sus cuatro categorías, mientras que Ag, As, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn y Hg se encuentran por encima del límite de la directriz canadiense.

- En el promedio de las muestras de suelos de la *Cortaderia rudiuscula* los metales pesados se encuentran en mayor concentración en su mayoría en comparación con los promedios de las muestras de suelos de *Solanum hispidum y Schinus molle*.
- *Solanum hispidum* es una especie hiperacumuladora para As, *Schinus molle*, hiperacumuladora para B y *Cortaderia rudiuscula* es considerada como acumuladora para Cr.
- *Schinus molle* acumula concentraciones más altas de Pb en el suelo y en la parte radicular que las encontradas en *Solanum hispidum*.
- La tendencia que posee el Arsénico es que tiene mayor concentración en la parte aérea de la planta que en la raíz; además el Arsénico se encuentra dentro de los metales más tóxicos que existen.
- *Solanum hispidum* se presenta como planta hiperacumuladora con un FBCradicular de 11.66 para K y FT de 1.08 para K. Así mismo se obtuvo valores de FBCradicular de 2.66, 1.00, 1.73, 3.81 y 3.00 en B, Hg, Li, Na y Se, respectivamente y valores de FT mayores a 1.00 para B, Hg y Li, lo que califica a *Solanum hispidum* como planta acumuladora.

- El *Solanum hispidum* es la especie que posee en mayor cantidad de elementos valores de FT> 1, lo que indica que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es acumular metales pesados en la parte aérea de la planta.
- Tanto en *Schinus molle* como en *Cortaderia rudiuscula* se mostró un FT>1 para B, lo que las califica como acumuladoras e indica que trasladan eficazmente el B de la raíz a la parte aérea de la planta.
- La especie vegetal *Solanum hispidum* tuvo un valor de FT de 2.75, siendo calificada como una planta eficaz para trasladar Sn de la parte radicular a la parte aérea y su potencial es hiperacumular este metal en la parte aérea de la planta (tabla N°29). Para el caso de FBCradicular las tres especies vegetales mostraron valores menores a uno, lo que las califica como plantas excluyentes para Sn, en concentraciones de suelo de 1.7 mg/kg a 11 mg/kg (tabla N°16).
- En *Solanum hispidum*, los metales que poseen mayor FT son el Sb, Pb y Ni.
- La tendencia que posee el Sb es que presenta mayor concentración en la parte aérea de la planta que en la raíz.
- Para el caso del Sb, ninguna de las tres especies vegetales acumularon concentraciones >10 000 mg/kg (tabla N°15). Las tres especies muestran valores de FBCradicular menores a uno para todos los sitios y FT mayor a uno (tablas N° 26 y N° 29); solamente *Solanum hispidum* presenta valores de 36.9 FT. Las concentraciones en el suelo son altas, de 15.8 mg/kg a 142.8 mg/kg. El promedio de la concentración de Sb en el suelo sobrepasó la directriz canadiense para los cuatro usos de suelo en casi el doble.

- Se hicieron algunas observaciones basadas en los promedios de las concentraciones de metales pesados de cada especie vegetal, que sobrepasaron las directrices canadienses, las raíces del *Schinus molle* fueron más eficientes que las de *Solanum hispidum* y *Cortaderia rudiuscula*, en hiperacumular B (FBCradicular=28.7) y K (FBCradicular=13.32). Sin embargo, *Solanum hispidum* obtuvo un valor de FBCradicular de 11.66 para K, por lo que resulta considerada también como planta hiperacumuladora, pero las tres especies se muestran como plantas excluyentes en la mayoría de metales pesados (tabla N° 29).

VII. RECOMENDACIONES

Como consecuencia del estudio ejecutado en el ámbito del área de influencia de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas se recomienda lo siguiente:

1. Complementar el presente trabajo, con estudios de las otras especies vegetales que se encuentran alrededor de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas, para ver si existen especies con mayores capacidades de bioacumulación de metales pesados.

2. Estudiar los efectos de las interacciones entre planta-bacteria o planta-micorriza, que pueden afectar la absorción de metales pesados y su translocación a la parte aérea de la planta.

3. Realizar el estudio de plan de cierre de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas como medida de contingencia, con participación del Ministerio de Energía y Minas, Dirección Regional de Energía y Minas-Huaraz y Municipalidad distrital de Jangas.

4. Realizar estudios con respecto a la posible liberación de metales a partir de la descomposición de las raíces (Weis y Weis, 2004).

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adriano, D. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. 2nd Edition. Springer-Verlag New York. Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5.
- Aliaga, E. (2003). *Biorremediación del agua de relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de la UNASAM –Jangas, por tratamiento con quitina de crustáceos. Tesis Msc. Universidad Santiago Antunez de Mayolo*. Huaraz – Perú.
- Audet, P. y Charest, C. (2007). *Heavy metal phytoremediation from a metal-analytical perspective*. Environmental Pollution, 147: 231–237.
- Barceló, J. y Poschenrieder, C. (2003). *Phytoremediation: principles and perspectives. Contributions to Science*, 2(3): 333-344.
- Banasova, H., Horak, O., Nadubinska, M., Ciamporova, M. y Lichtscheidl, I. (2008). *Heavy metal content in Thlaspi caerulescens J. et C. Presl growing on metalliferous and non-metalliferous soils in Central Slovakia*. International Journal of Environment and Pollution.

- Baker, M. (1981). *Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition* 3: 643–654.
- Baker, M. (1987). *Metal Tolerance. New Phytol*. pp: 106:93-111.
- Baker, M. y Brooks, R. (1989). *Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry*. Available at: http://www.researchgate.net/publication/247713966_Terrestrial_Higher_Plants_Which_Hyperaccumulate_Metallic_Elements_A_Review_of_Their_Distributi o n_E.
- Baker, M., McGrath, S., Reeves, R.D. y Smith, J.A. (2000). *Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*. Available at http://lbewww.epfl.ch/cost837/PhytoRemed2000_Files/Session3.pdf.
- Berti, W. y Cunninghan, S. (2000). Phytostabilization of metals. In: Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. Edts.I. Raskin and B. D. Ensley. Wiley Inter-Science. New York, USA. p. 71-88.
- Bradshaw, A. y McNeilly (1985). Evolución y Contaminación. Ed. Omega.82 p.
- Brown, G., Foster, A. y Ostergren, J. (1999). Mineral surfaces and Bioavailability of Heavy Metals: A Molecular-scale Perspective. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96: 3388-3395.

- Casierra, P. y Aguilar, A. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Disponible en: http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol1/vol.1no.2/Vol.1.No.2.Art.11.pdf.
- CCME. (2007). Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Cdc. la molina. edu.pe/ herbario Mol/ arboles de los ecosistemas forestales andinos. *Schinus molle*.pdf. serie 09.
- Chaney, R. (1983). Potential effects of waste constituents on the food chain. In: Land treatment of hazardous wastes. Edited by Parr JF, Marsh PD, Kla JM, Park Ridge, NJ: Noyes data corporation. pp: 152-240. Available at: http://books.google.com.pe/books?id=pNutJSq5EJYC&pg=PA89&dq=Chaney+R.L.+B+(1983)+b).+Potential+effects+of+waste+constituents+on+the+food+chain.+In:+Land+treatment+of+hazardous+wastes&hl=es.
- Conesa, H., Schulin, R. y Nowack, B. (2007). A laboratory study on revegetation and metal uptake in native plant species from neutral mine tailings. Water, Air and Soil Pollution 183: 201-212.
- Dietz, A. y Schnoor, J. (2001). Advances in phytoremediation. Environmental Health Perspectives. 109:163-168.
- EPA 200.7: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma- atomic emission spectrometry.
- Espinoza, P. (2007). Propuesta del plan ambiental del cierre y abandono de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas- UNASAM. Tesis Msc. Universidad Santiago Antunez de Mayolo. Huaraz – Perú.

- Fernández, J. y Maldonado, J. (2000). Absorción y transporte de nutrientes minerales. In J Azcón-Bieto, M Talón, eds, Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGrawHill Interamericana, Barcelona, España, pp 99-112.
- Figliolia, R., Socciarelli, S. y Pennelli, B. (2002). Capability of Brassica napus to accumulate Cadmiun, Zinc and Copper from soils. Acta Biotechnol. 22, 1-2. 133-140.
- Ginocchio, R. (2004). Nueva tecnología: fitoestabilización para cierres de faenas mineras. Sustentare, Minería Chilena 21: 1-4.
- Ginocchio, R. y Baker, M. (2004). Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. Revista Chilena de Historia Natural 77: 185-194.
- Ginocchio, R. y León-Lobos, P. (2007). Recursos genéticos para la fitoestabilización: plantas que reducen la contaminación por desechos mineros. Tierra adentro 75:20-23.
- Ghosh, M. y Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Applied Ecology and Environmental Research, 3(1): 1-18.
- Green, D. (2001). Forestación de depósitos de relave abandonados presentación de caso: Depósito de relave ácido en alta montaña zona central de Chile. Santiago, Universidad de Chile. 156p.
- Hauser, M., Puschenreiter, M., Lux, A., Adlassnig, W., y Lichtscheidl, I. (2010). Evaluation of heavy metal responses in Salix caprea for the improvement of phytoextraction strategies. FWF.

- Hutchings, T., (2000). The Opportunities for Woodland on Contaminated Land. Forestry Commission, 1–8.
- Hutchinson, S., Banks, M. y Schwab, A. (2001). Phytoremediation of aged petroleum sludge: Effect of inorganic fertilizers. Journal Environmental Quality 30: 1173-1181.
- Jacob W. (2013). Phytoremediation. Universitat Wien. 15p.
- Jara, P., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N. (2013). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista Peruana de Biología 21(2): 145 - 154 (2014). UNMSM. Disponible en: http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817.
- Kabata, A. y Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. Thrid edition. Press Boca Raton Florida, USA. disponible en: http://worldtracker.org/media/library/Science/Chemistry/Trace%20Elements%20in%20Soils%20and%20Plants%203rd%20ed%20%20A.%20Kabata-Pendias,%20et%20al.,%20(CRC,%202001)%20WW.pdf.
- Kim, S., Ma, H., Allen, H. y Cha, D., 2002. Influence of dissolved organic matter on the toxicity of copper to Ceriodaphnia dubia: effect of complexation kinetics. Environmental Toxicology and Chemistry 21 : 275-280.
- Korcak, R. y Fanning, D. (1985). Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. Soil Sci. 140: 23-34.
- Krishnamurti, G. y Naidu, R. (2000). Speciation and phytoavailability of cadmium in selected surface soils of South Australia. Australian Journal of Soil Research 38(5): 991-1004.

- Kuiper, D. (1984). Genetic differentiation and phenotypic plasticity in populations of Plantago lanceolata I response to nutrient level. In: Genetic differentiation and Dispersal in Plants. Ed. P. Jacquard, G.Heim y J. Antonovics. Ecological Science 5. pp: 251-269.
- Lazzari, L., Speerni, L., Salizzato, M. y Pavoni, B. (1999). Gas chromatographic determination of organic micropollutants in samples of sewage sludge and compost: Behaviour of PCB and PAH during composting. Chemosphere 38: 1925-1935.
- Lombi, E., Zhao, F., Dunham, S. y McGrath, S. (2001). Phytoremediation of heavy metal contaminated soils: natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. Journal of Environmental Quality, 30: 1919 - 1926.
- Lussier, S., Boothmen, W., Poucher, S., Champlin, D. y Helmstetten, A. (1999). Comparison of Dissolved and Total Metals Concentrations from Acute Tests with Saltwater Organisms. Environmental Toxicology and Chemistry 18: 889-898.
- Macnair, M. (2002). Within and between population genetic variation for zinc accumulation in Arabidopsis halleri. New Phytologist. pp: 155: 59–66 Available at:
  http://usagiedu.com/articles/nihercp/nihercp.pdf.
- Manson, R. y Lawrence, A. (1999). Concentration, Distribution, and Bioavailability of Mercury and Methylmercury in Sediments of Baltimore Harbor and Chesapeake Bay, Maryland, USA. Environmental Toxicology and Chemistry 18: 2438-2447.

- McGrath, S., Shen, Z. y Zhao, F. (1997). Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of Thlaspi caerulescens and Thlaspi ochroleucum grown in contaminated soils. Plant and Soil, 188: 153-159.
- McGrath, S., Zhao F. y Lombi E. (2002). Phytoremediation of metals, metalloids and radionuclides. Advances in Agronomy, 75:1-56.
- McIntyre, T. (2003). Phytoremediation of heavy metals from soils in phytoremediation. En: Tsao, D.T, (ed.), Advances in biochemical engineering biotechnology, pp. 97– 124. Germany: Springer-Verlag; 2003.
- Maqueda, A. (2003). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tesis de Opción a Maestría en Biotecnología. Departamento de Química y Biología, Universidad de las Américas, Cholula, Puebla. México.
- Mattina, M., Lannucci, W., Musante, C. y White, J. (2003). Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. (20/01/2013) Available at: http://pubget.com/paper/12758018/Concurrent_plant_uptake_of_heavy_metals_and_persistent_organic_pollutants_from_soil.
- Mahmud, R., Inouse, N., Kasajima S. y Shaheen, R. (2008). Assessment of potential indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic-contaminated areas of Bangladesh. International Journal of Phytoremediation 10: 119-132.
- Medina, M. y Montano, Ch. (2014). Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiuscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013. Huaraz- Perú.

- Mendieta, C. y Taisigüe, K. (2014). Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fitorremediación. Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua.
- Miller, R. (1996). Phytoremediation. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, GWRTAC, O Series Reports, TO-96-03.
- Núñez, G., Alarcón, M, Melgoza, A., Rodríguez, F. y Royo, M., (2007). Evaluación de tres especies nativas del desierto chihuahuense para uso en fitorremediación.
- Olivares, E. y Peña, E. (2009). Bioconcentración de elementos minerales en Amaranthus dubius (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v34n9/art04.pdf.
- Ortega, H., Benavides, A., Arteaga, R. y Zermeño, A. (2009). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Centro de Investigación en Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, CP 25253 Saltillo, Coahuila México.
- Paredes, J. (2015). Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros. Vol 11-N° 02.
- Pérez, S., Martinez, S., García M. y Bech, J. (2008). Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by minning activities. Fresenius environmental Bulletin 17: 1666-1671.

- Petrisor, I., Dobrota, S., Komnitsas, K., Lazar, I., Kuperberg J. y Serban, M. (2004). Artificial Inoculation-Perspectives in Tailings Phytostabilization. International Journal of Phytoremediation 6: 1-15.
- Piha, M., Vallack, H., Reeler, B. y Michael, N. (1995). A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash wastes in semi-arid regions. I. Tinmine tailings in Zimbabwe. Journal of Applied Ecology 32: 372-381.
- Pilon, S. (2005). Phytoremediation, Annual Review of Plant Biology, 56:15–39.
- Puschenreiter, M., Wieczorek, S., Horak, O. y Wenzel, W. (2003). Chemical changes in the rhizosphere of metal hyperaccumulator and excluder Thlaspi species. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166: 579–584.
- Quiñonez, J. (2007). Evaluación de la cantidad de Arsénico en el aire, del pasivo ambiental de la Minera Alianza Ticapampa. Huaraz- Perú.
- Santibáñez, C. y Ginocchio, R. (2005-2006). Uso de Recursos Fitogenéticos Nativos Para la Fitoestabilización de Relaves Mineros en la Región de Coquimbo- Chile.
- Sas, N., Kucharski, A., Malkowski, R., Pogrzeba, E., Kuperberg, M., Krynski. (2004). Phytoextraction crop disposal – an unsolved problem. Environmental Pollution, 128: 373–379.
- Saxena, P., S. KrishnaRaj, T., Dan, M., Perras R. y Vettakkrumakankav, N. (1999). Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soil. In: Prasad, M.N.V. and J.Hagemeyer, Heavy Metal Stress in plants from Molecules to Ecosystem (02 de Enero de 2013). 306-326p.

- Shaw, A. Jonathan. (1998) “Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects”. CRC Available at: http://books.google.com.pe/books?id=kvsPo4Et5scC&pg=PA270&dq=Heavy+Metal+Tolerance+in+Plants&hl=es&sa=X&ei=BzDEU/WOsfnsASzvYDgBw&ved=0CBkQ6AEwAA#v=onepage&q=Heavy%20Metal%20/Tolerance%20in%20Plants&f=false.
- Sun, Y., Zhou, Q. y Diao, Ch. (2008). Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator Solanum nigrum L. Bioresource Technology 99 1103–1110.
- Tarazona, A. (2005). Uso de indicadores ambientales para evaluar la fragilidad de la zona inmersa en la PT Santa Rosa de Jangas. Tesis Msc. Universidad Santiago Antunez de Mayolo. Huaraz – Perú.
- Vassilev, A., Schwitzguébel, J., Thewys, T., Van der Lelie, D. y Vangronsveld, J. (2004). The use of plants for remediation of metal contaminated soils. Science World, 4: 9– 34.
- Vyslouzilova, M., Tlustos, O, Szakova, J. y Pablicova, D. (2003). As, Cd, Pb and Zn uptake by different Salix spp. Grown at soils enriched by high loads of these elements. Plant Soil Environ. 49 (5): in press.
- Wenzel, W., Unterbrunner, R., Sommer, P. y Sacco, P. (2003). Chelate-assisted phytoextraction using canola (Brassica napus L.) in outdoors pot and lysimeter experiments. Plant and Soil. 249: 83-96.
- Weis, J. y Weis P. (2004). Metal uptake, transport and release by wetland plants, implications for phytoremediation and restoration. Available at:

http://dzumenvis.nic.in/Microbes%20and%20Metals%20Interaction/pdf/Metal%20uptake%20transport%20and%20release.pdf.

- Wilkins, D. (1957). A technique for the measurement of lead tolerance in plants. Nature 180, 37-38.
- Whitfield, M. y Zeeb, B. (2010). A review if recent research developments into the potential for phytoextraction of persistent organic pollutants (POPS) from weathered, contaminated soil. In: Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultural and Wastewater Contamination. Ed. Kulakow, P. y Pidlisnuyuk, V. Springer, p: 35-59.
- Yoon, J., Cao, X. Zhou. Q. y Ma, L. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. (10 de febrero de 2013) Available at: http://lqma.ifas.ufl.edu/publication/yoon-06.pdf.
- Yupari, A. (2004). Informe Preliminar Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica, Informe elaborado para la CEPAL y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR. Disponible en: http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/33416/lcl2869e.pdf.
- www.Magrama.gob.es/es/biodiversidad/catalogo-español-especies exóticas-invasoras/cortaderia-spp-tem7-209753.pdf.
- www.prisma.org.sv/uploads/media/la-flora-delbosque-laMontaniona-chalatengo.ESU.pdf.
- www.idrc.cal/Lacro/oficina/index.html. (Enero del 2002) Viabilidad económica y ambiente de la pequeña y mediana minería en el perú.

ANEXOS

Anexo N° 1. Relaves mineros prioritarios en el sector minero –Perú.

Localidad	Provincia
Vertido de residuos de la mina Sinchao	Cajamarca
Mina Montoya y Quebrada Honda	Cajamarca
Mina Mesa de Plata	Cajamarca
Depósito de relaves de El Dorado	Cajamarca
Depósito de relaves de Ticapampa	Áncash
Depósito de relaves y desmonte de Tajo S. Toribio	Áncash
Depósito de relaves de Huancapetí	Áncash
Bocamina de Pushaquilca	Áncash
Bocamina de El Triunfo	Áncash
Depósito de relaves de Llipa	Lima
Depósito de relaves de Millotingo	Lima
Depósito de relaves y drenaje ácido de la mina Río Pallanga	Junín
Depósito de relaves y drenaje de Carhuacayán	Junín
Drenaje ácido y desmonte de la mina de Huacracocha	Junín
Drenaje ácido y desmonte de la mina de Pucará	Junín
Depósito de relaves de Pacococha	Huancavelica
Drenaje ácido de la bocamina en Dollar	Huancavelica
Depósito de relaves de la mina Madrigal	Arequipa
Zona de la mina aurífera de Caychive-Huepetuhe	Madre de Dios
Relaves, y drenaje ácido de Palca 11	Puno

Fuente: MEM e informe del BGR**.**

Anexo N° 02: Concentración de metales pesados (mg/kg) en el suelo de *Solanum hispidum.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES (Suelo)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	3.12	5913	1590	3.85	58.7	0.49	20647	15.6	39.4	8.4	3.56	51	20000	0.06	704	12.5	3473	1517	1.45	57.8	5.08	1015	772	24.9	0.3	1.7	40.4	20	0.71	18.3	1254

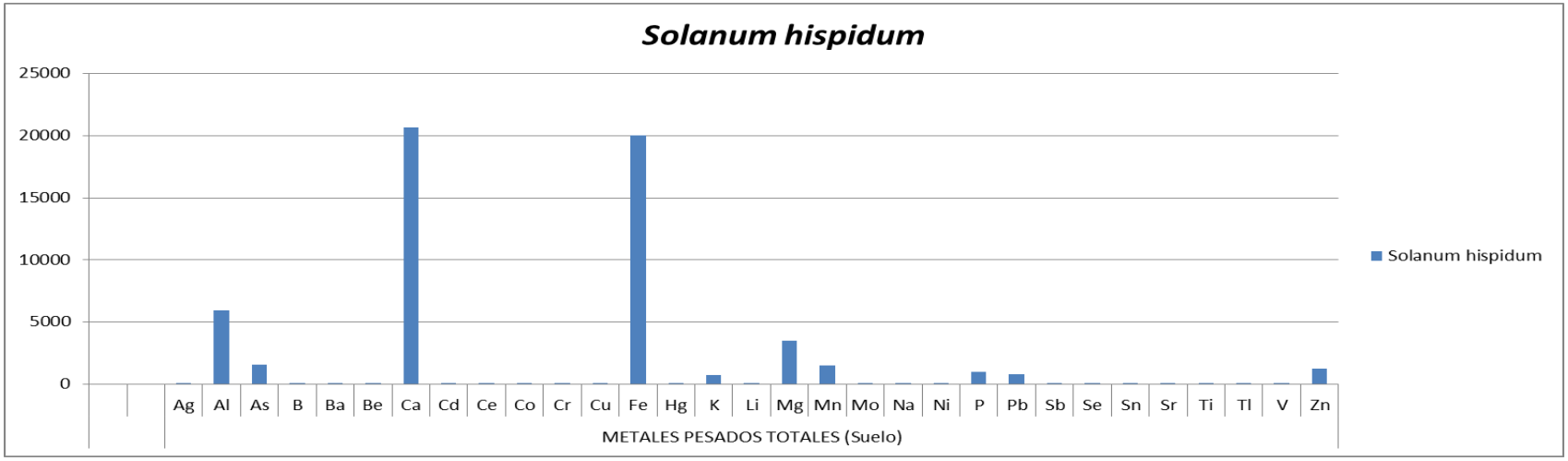


Gráfico N° 01: Concentración de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 03: Concentración de metales pesados (mg/kg) en el suelo de *Schinus molle*.

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES (Suelo)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Schinus molle	12.8	5410	1305	0.3	65.4	0.3	25315	16.3	33.4	6.61	6.77	135	20000	0.06	933	12.3	3135	1094	1.7	79.4	3.42	993	2067	15.8	0.3	3.1	50.8	14.9	0.6	16.1	1395

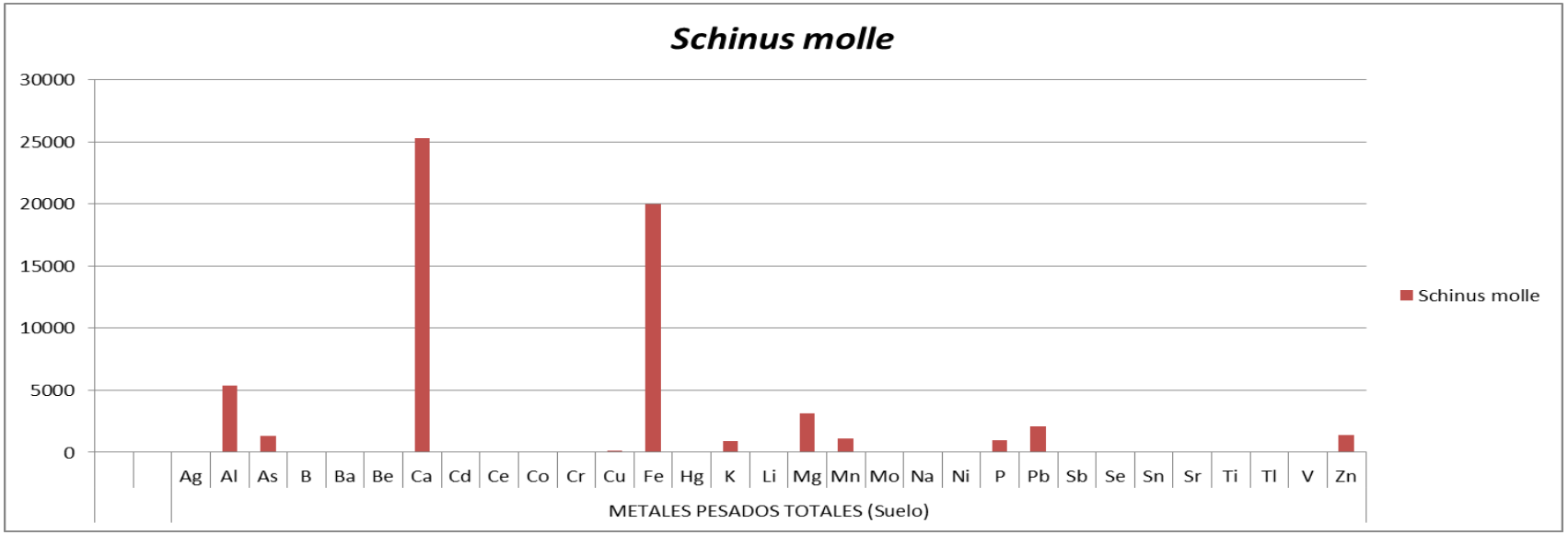


Gráfico N° 02: Concentración de metales pesados en el suelo de *Schinus molle*.

Anexo N° 04: Concentración de metales pesados (mg/kg) en el suelo de *Cortaderia rudiuscula*.

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Suelo)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Cortaderia rudiuscula	75.8	5737	6000	0.3	56.2	0.26	20785	91.7	32.4	11	8.66	427	20000	8.92	1790	10.7	1847	2000	4.3	424	5.46	641	5000	143	0.3	11	53.1	46.6	1.6	13.5	5000

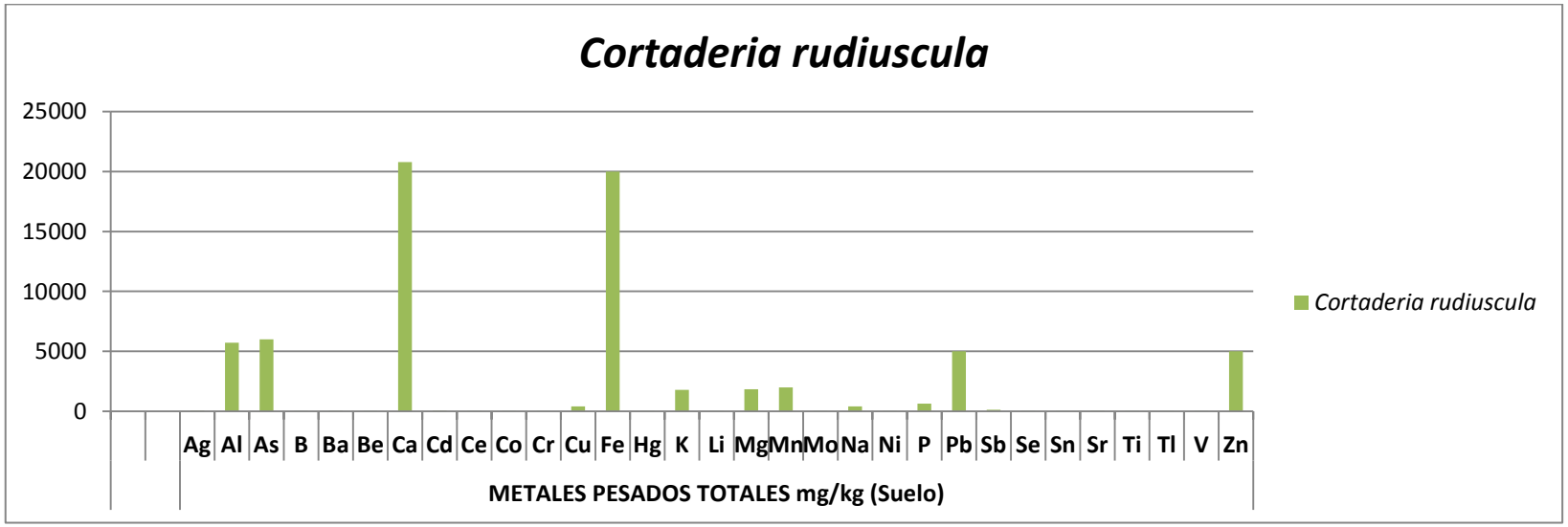


Gráfico N° 03: Concentración de metales pesados en el suelo de *Cortaderia rudiuscula*.

Anexo N° 05: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte radicular de *Solanum hispidum.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Radicular)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	0.41	562	506	10.3	11.4	0.03	12364	2.42	2.25	0.63	0.44	10.5	2222	0.06	8205	21.6	997	120	0.4	220	0.54	734	58.5	9.8	0.9	0.8	32.8	12.2	0.3	1.16	156

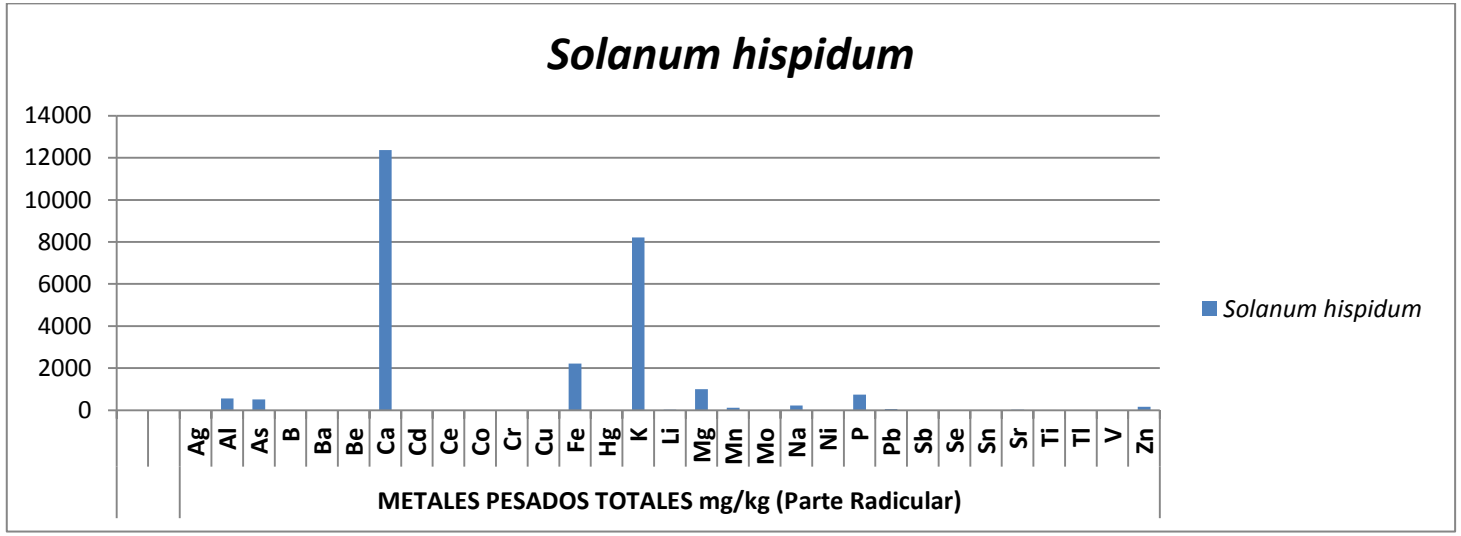


Gráfico N° 04: Concentración de metales pesados en la parte radicular de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 06: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte radicular de *Schinus molle*.

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Radicular)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Schinus molle	3.18	882	304	8.6	12.5	0.02	28053	4.43	4.6	0.94	4.27	94.4	5632	0.06	12423	2.8	2975	174	1.3	464	0.54	1484	453	5.5	0.3	1.1	79.1	8.17	0.3	2.1	460

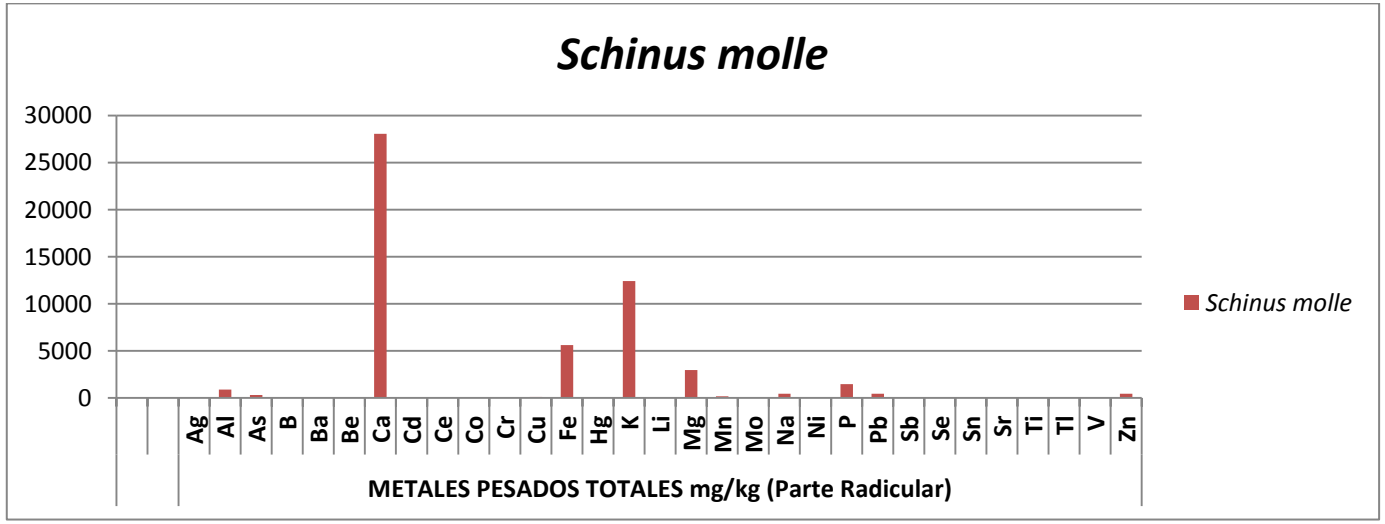


Gráfico N° 05: Concentración de metales pesados en la parte radicular de *Schinus molle*.

Anexo N° 07: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Radicular)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Cortaderia rudiuscula	47.2	1790	2228	0.3	25.1	0.05	4440	50.1	13.9	6.76	11.8	201	17912	0.07	4373	3.1	684	1550	1.8	224	2.48	410	3752	113	0.3	5.8	19.1	29.7	0.8	4.44	3292

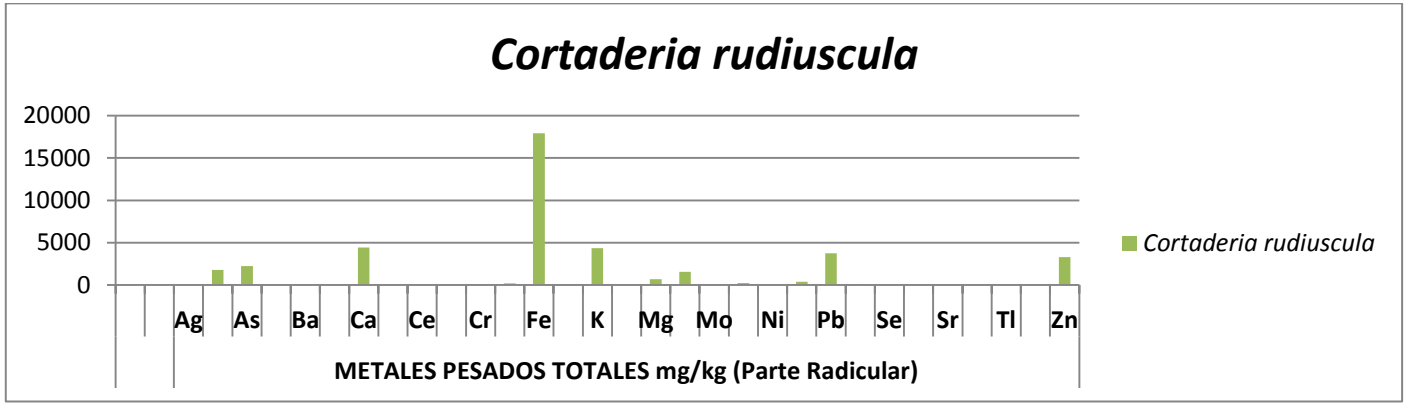


Gráfico N° 06: Concentración de metales pesados en la parte radicular de *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 08: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte aérea de *Solanum hispidum.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Aérea)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Solanum hispidum	4.65	709	5231	37	12.9	0.03	15771	13	12.9	7.34	2.28	92.5	16535	0.06	15086	45.7	3390	1392	1.02	122	9.46	2022	1040	361	0.3	2.2	28.5	8.08	1.4	2.27	1084

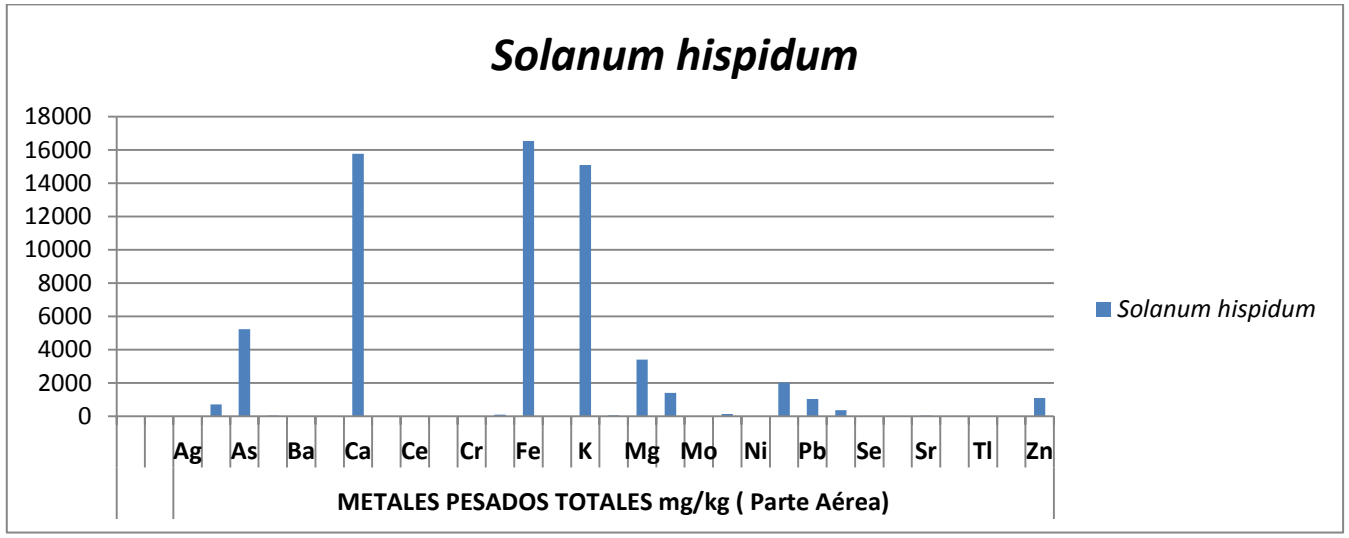


Gráfico N° 07: Concentración de metales pesados en la parte aérea de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 09: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte aérea de *Schinus molle.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Aérea)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Schinus molle	0.74	75.3	12.3	58.9	3.3	0.02	20596	1.54	0.4	0.06	0.4	23.2	254.4	0.06	12894	9.5	6137	207	0.2	120	0.7	1647	13.3	0.2	0.3	0.5	63.8	1	0.3	0.08	240

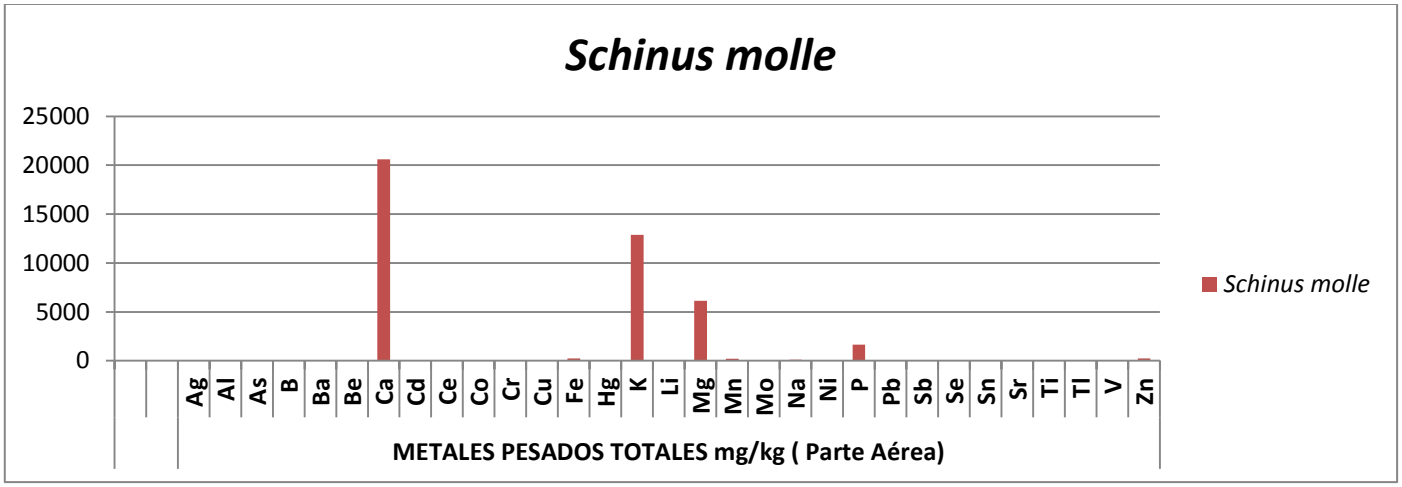


Gráfico N° 08: Concentración de metales pesados en la parte aérea de *Schinus molle.*

Anexo N° 10: Concentración de metales pesados (mg/kg) en la parte aérea de *Cortaderia rudiuscula.*

Especie vegetal	METALES PESADOS TOTALES mg/kg (Parte Aérea)																													
	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
Cortaderia rudiuscula	1.05	86.4	21.7	6.4	2.2	0.02	2564	6.63	0.6	0.17	1.41	14.1	393	0.06	8655	0.4	731	211	1.3	102	0.56	363	169	2.6	0.3	0.5	6.9	1.09	0.3	0.09	534

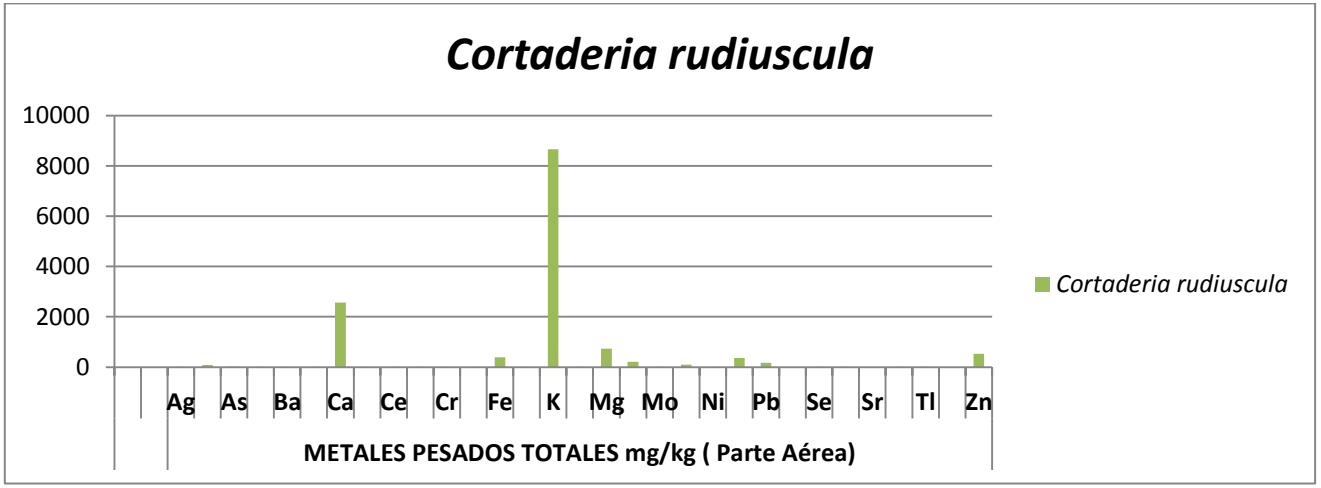


Gráfico N° 09: Concentración de metales pesados en la parte aérea de *Schinus molle.*

Anexo N° 11. Concentraciones de Al en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum.*

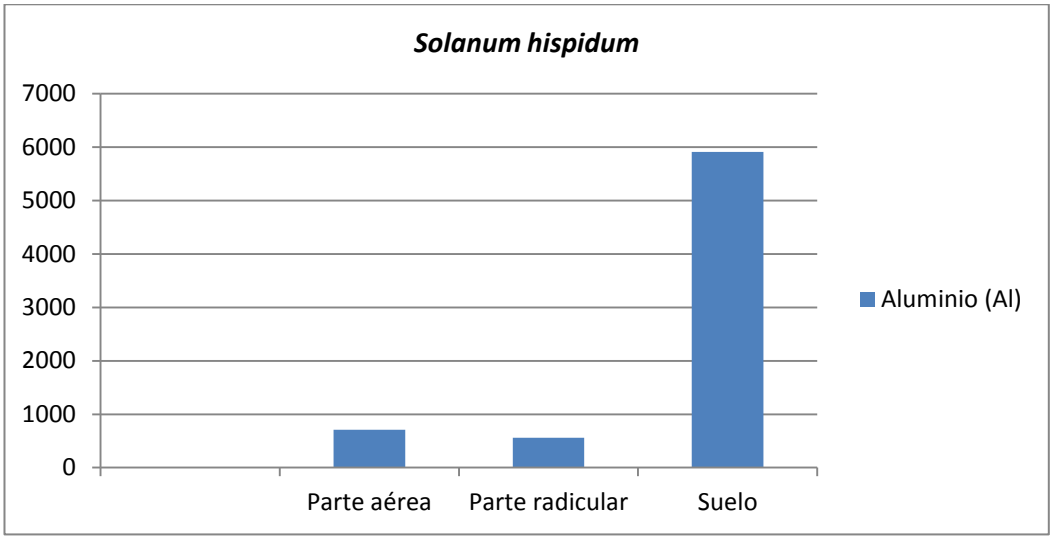


Gráfico N° 10: Concentración de Al en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 12. Concentraciones de As en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum.*

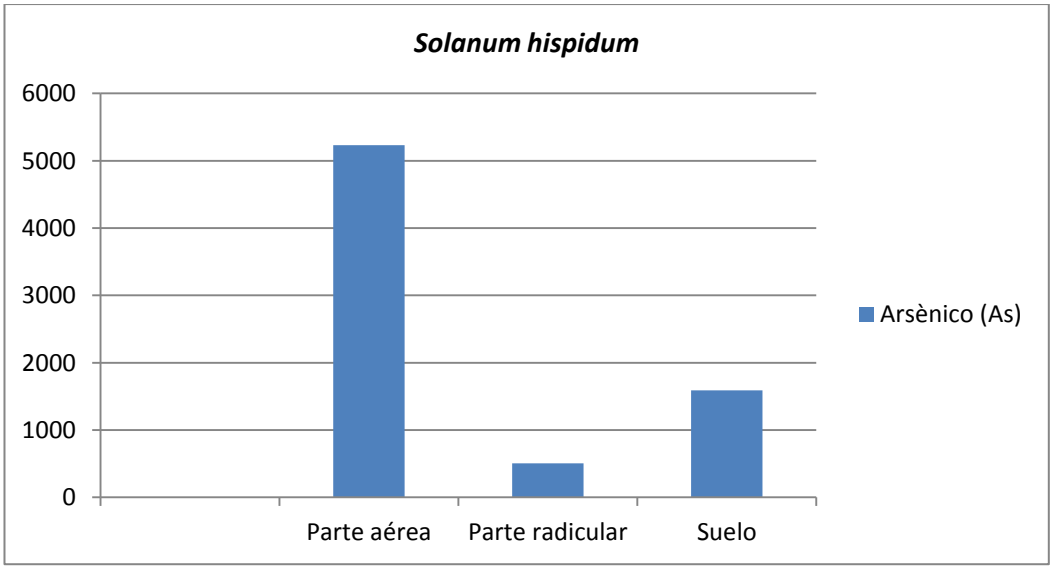


Gráfico N° 11: Concentración de As en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 13. Concentraciones de Ca en muestras de suelo y plantas (mg/kg) en *Solanum hispidum.*

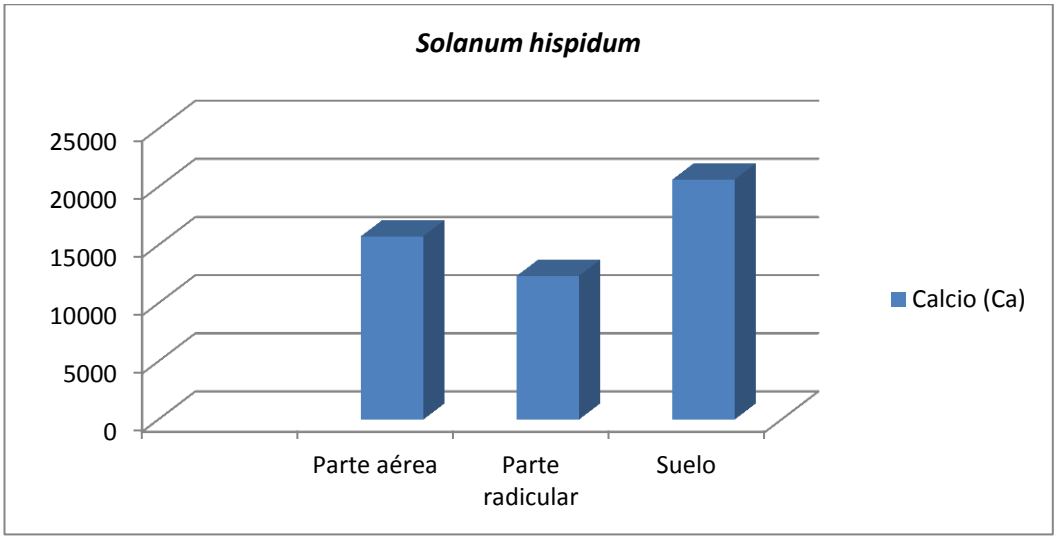


Gráfico N° 12: Concentración de Ca en el suelo, parte radicular y parte aérea de *Solanum hispidum.*

Anexo N° 14: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

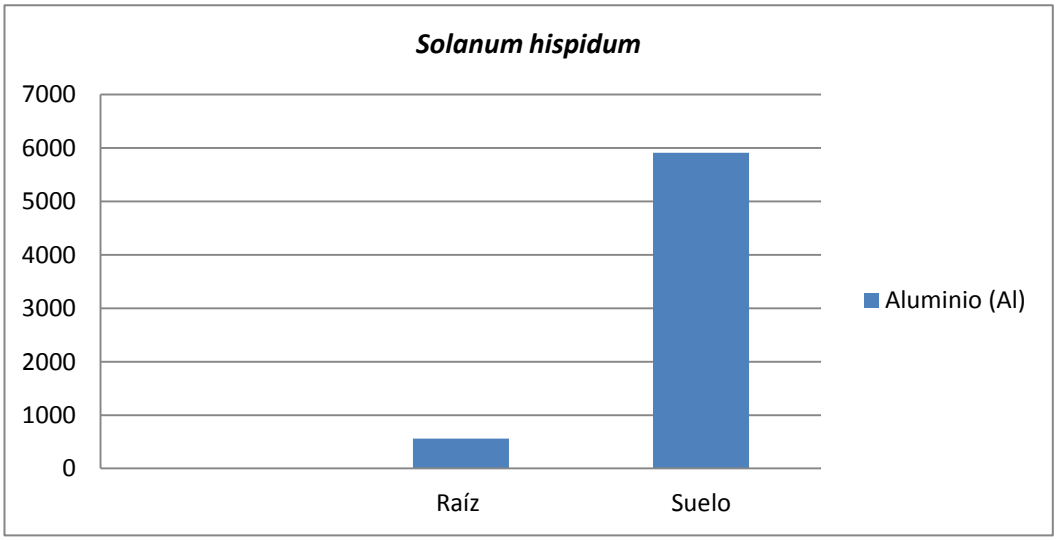


Gráfico N° 13: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*

Anexo N° 15: Concentración de As (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

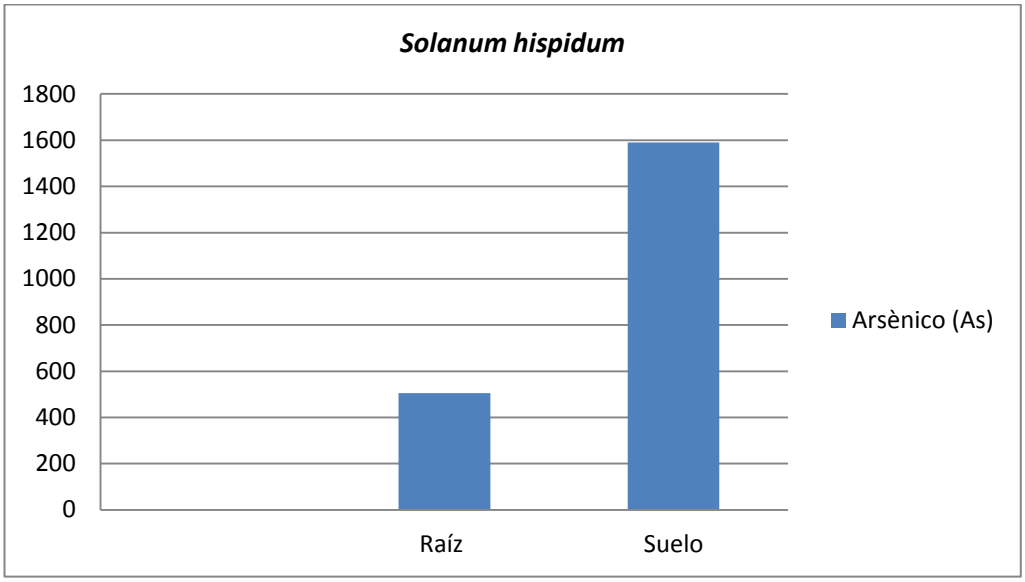


Gráfico N° 14: Concentración de As (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

Anexo N° 16: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

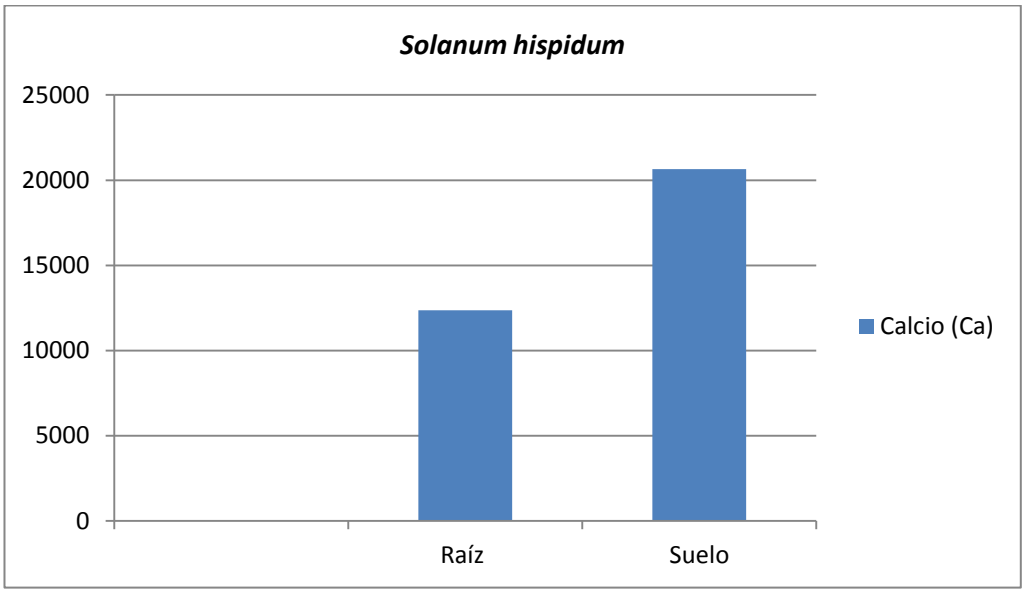


Gráfico N° 15: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

Anexo N° 17: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

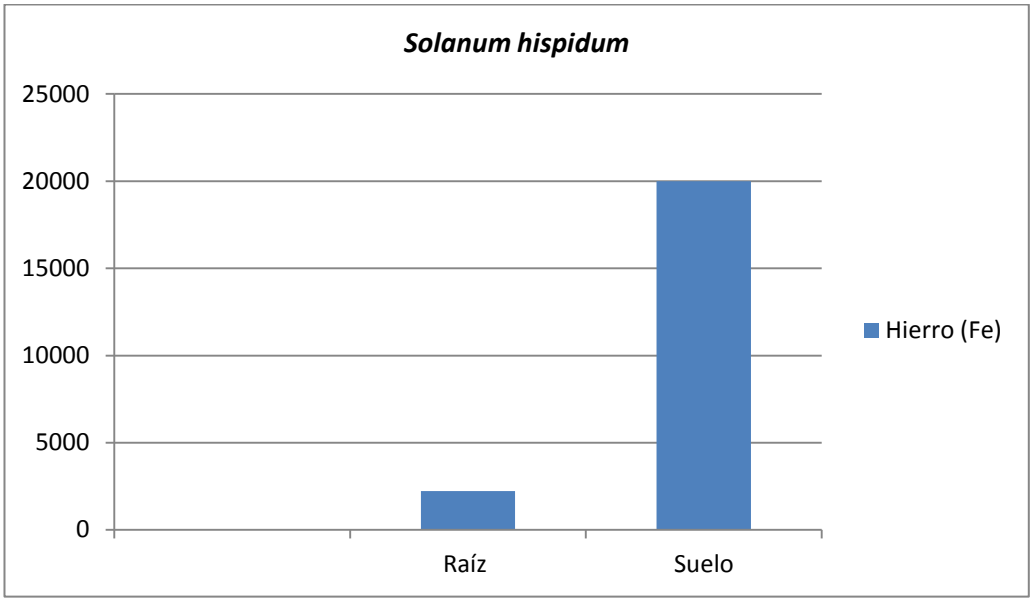


Gráfico N° 16: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 18: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Solanum*

hispidum.

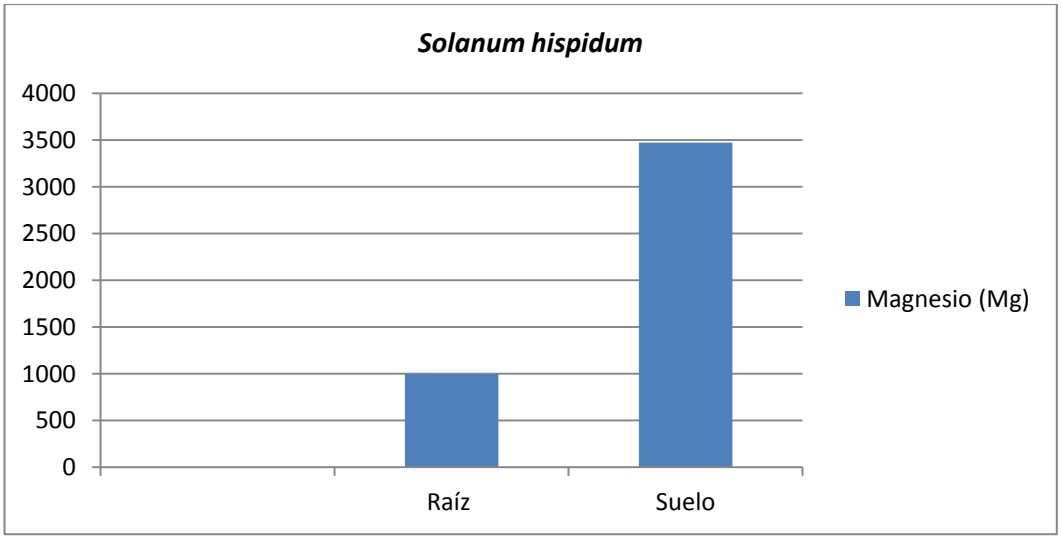


Gráfico N° 17: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 19: Concentración de P (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

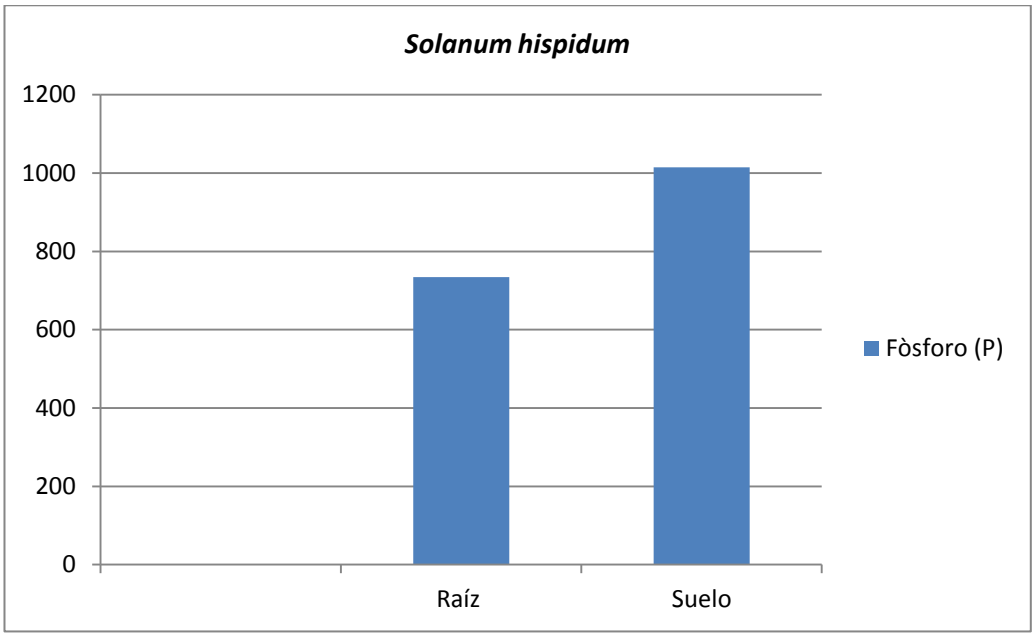


Gráfico N° 18: Concentración de P (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 20: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

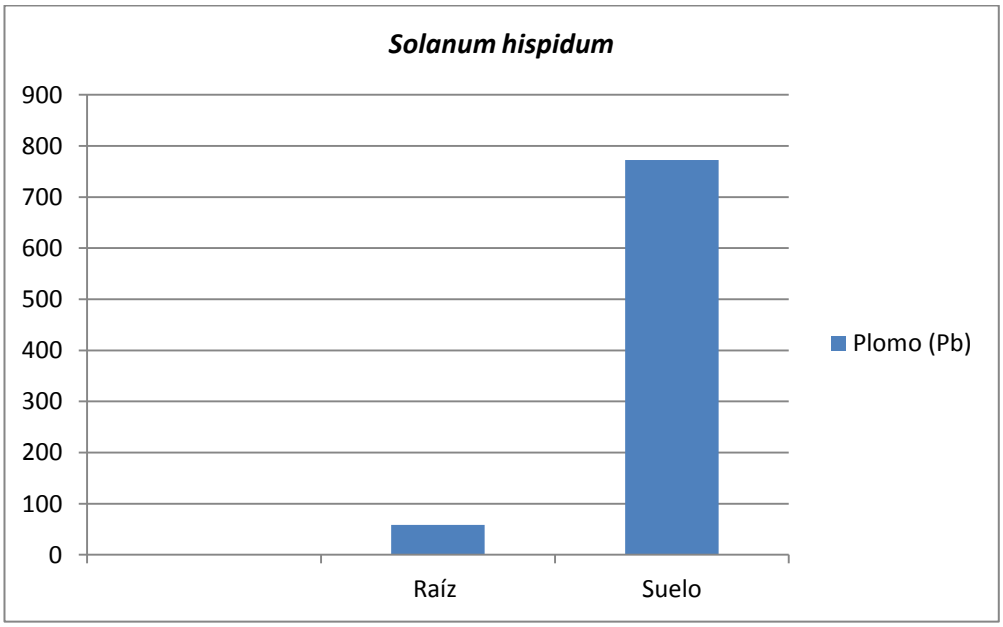


Gráfico N° 19: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 21: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum*.

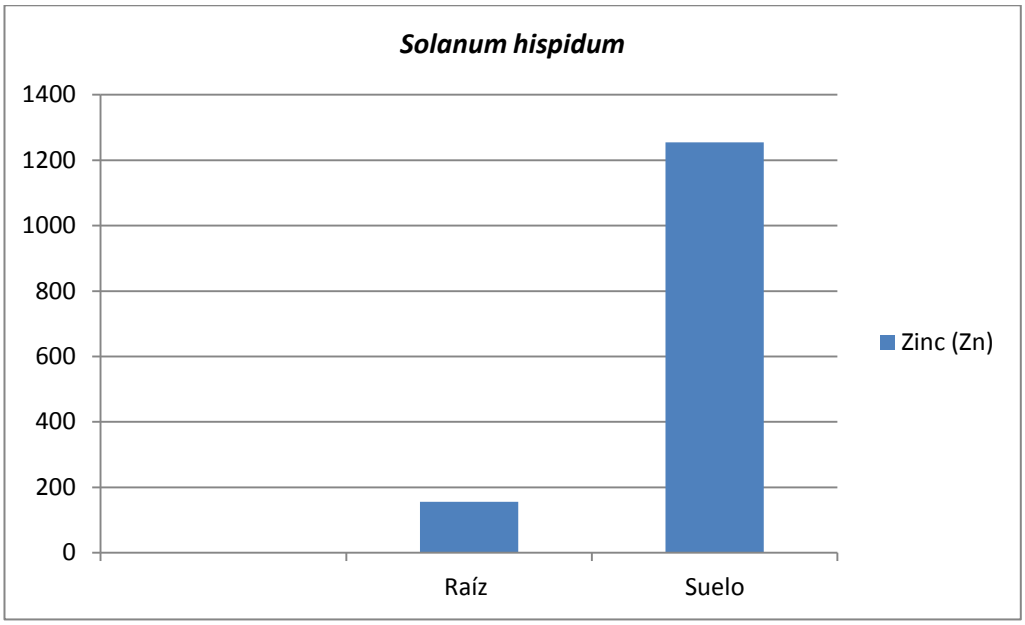


Gráfico N° 20: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 22: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

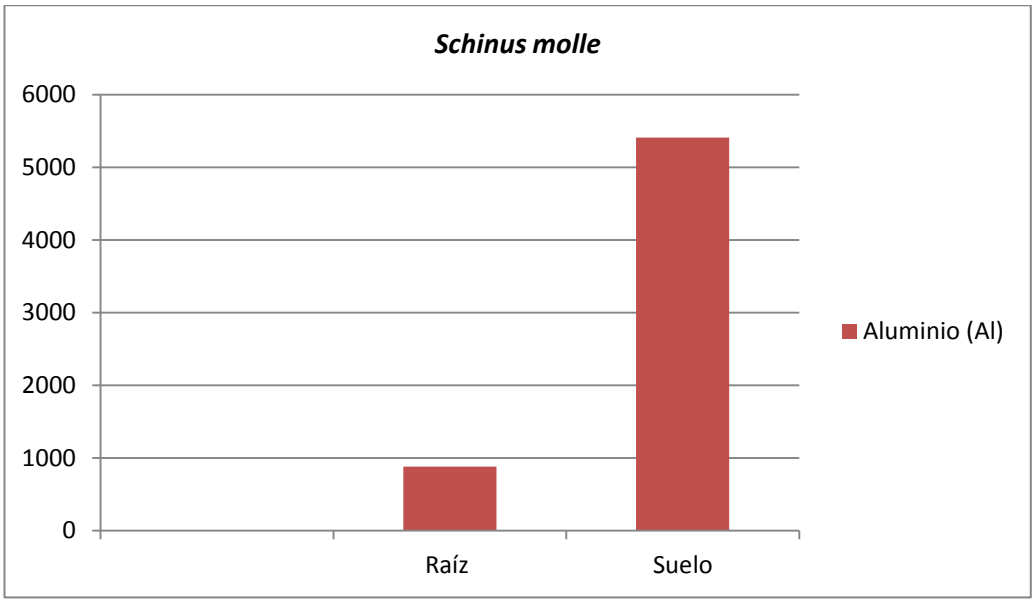


Gráfico N° 21: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 23: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

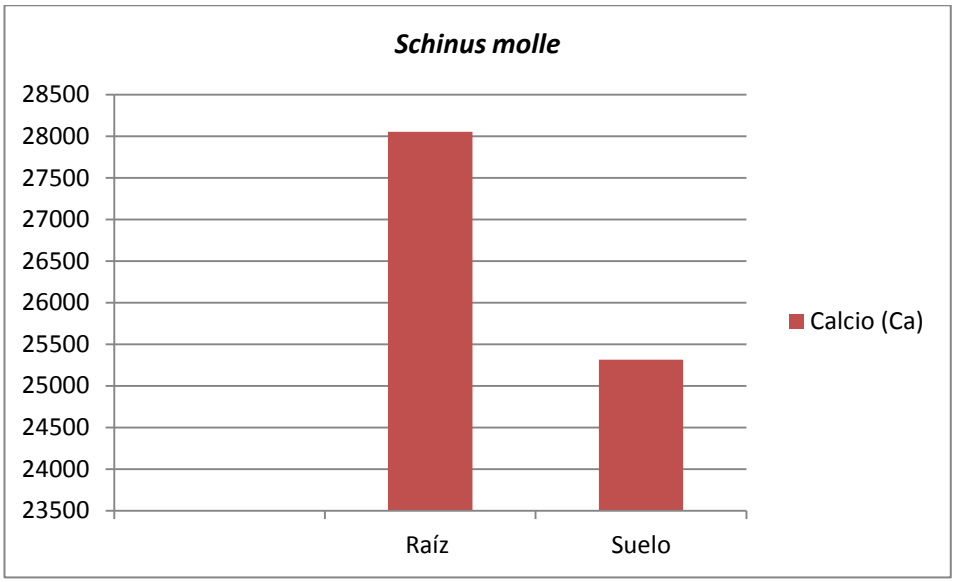


Gráfico N° 22: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 24: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

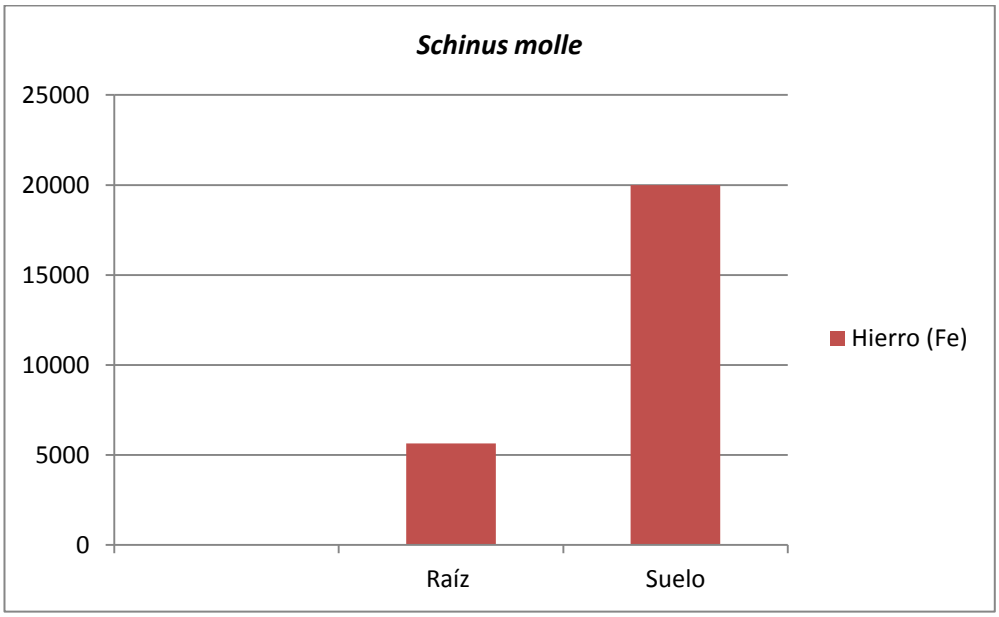


Gráfico N° 23: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 25: Concentración de K (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

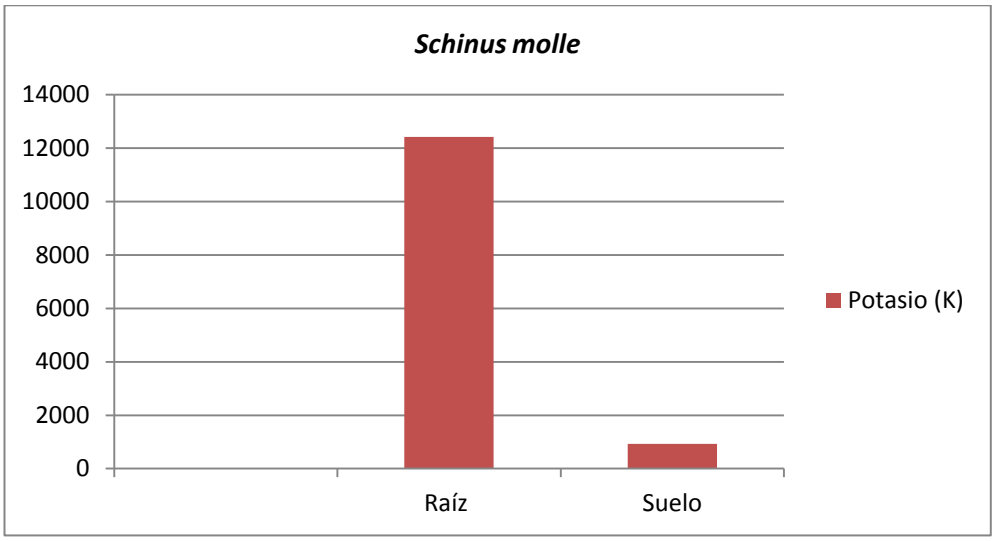


Gráfico N° 24: Concentración de K (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 26: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

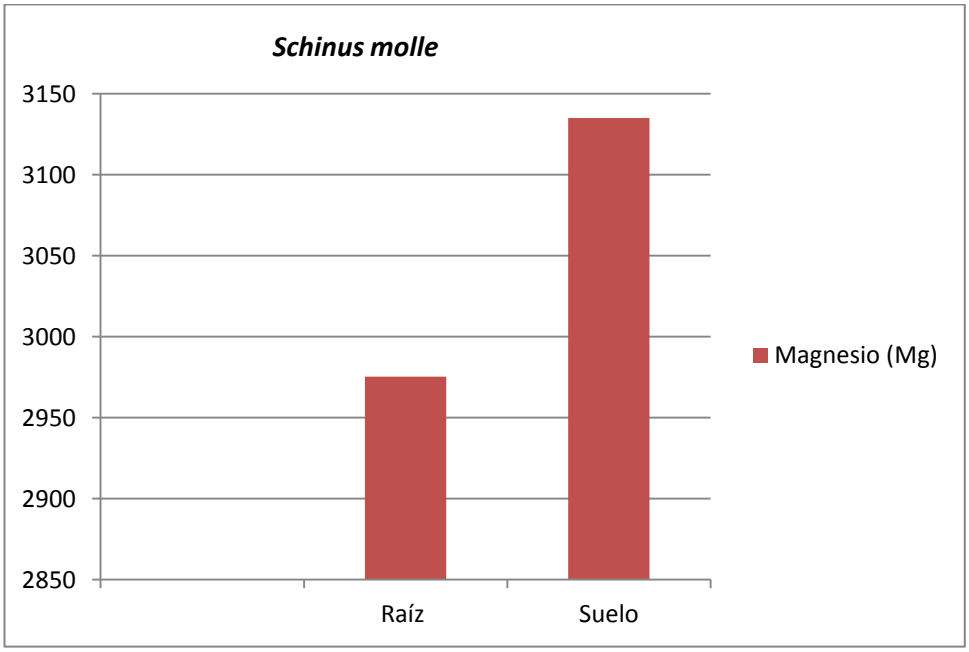


Gráfico N° 25: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 27: Concentración de P (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

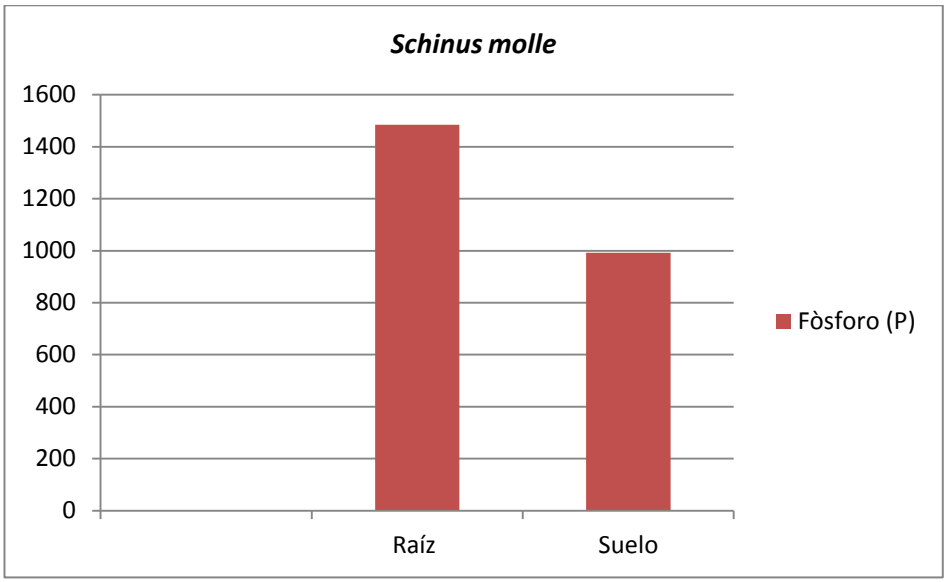


Gráfico N° 26: Concentración de P (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 28: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

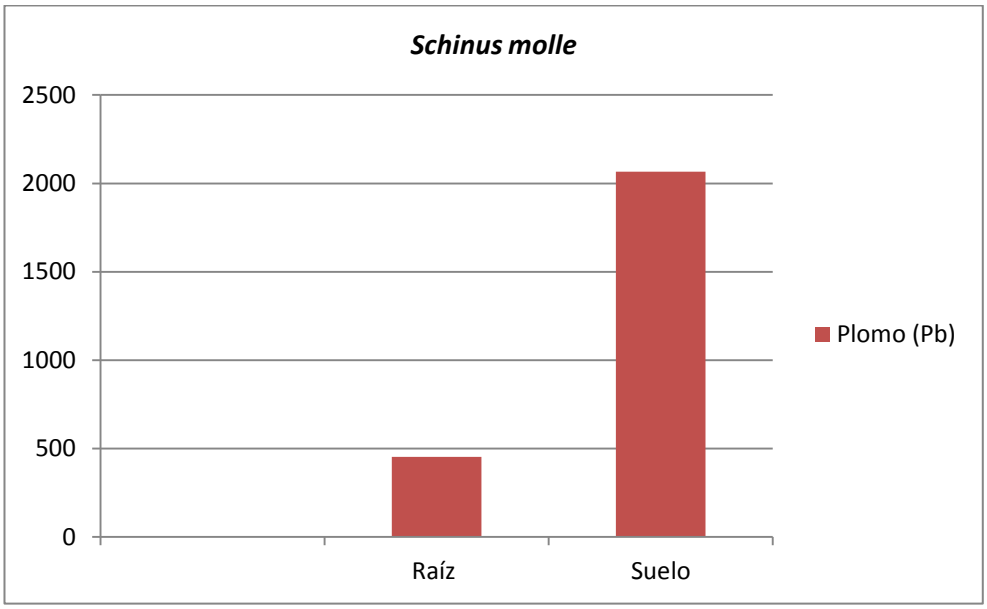


Gráfico N° 27: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 29: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Schinus molle*.

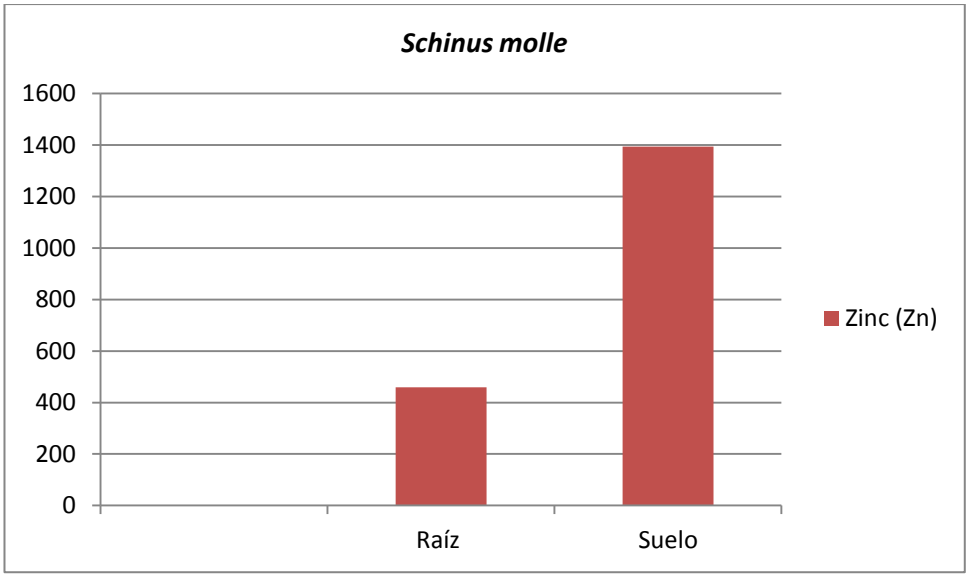


Gráfico N° 28: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Schinus molle.*

Anexo N° 30: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

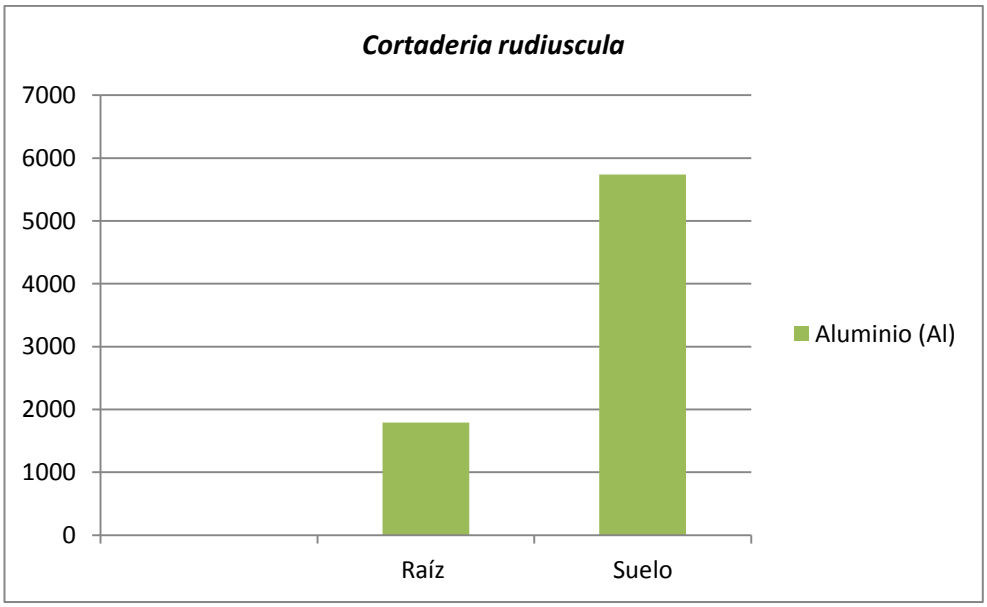


Gráfico N° 29: Concentración de Al (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 31: Concentración de As (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

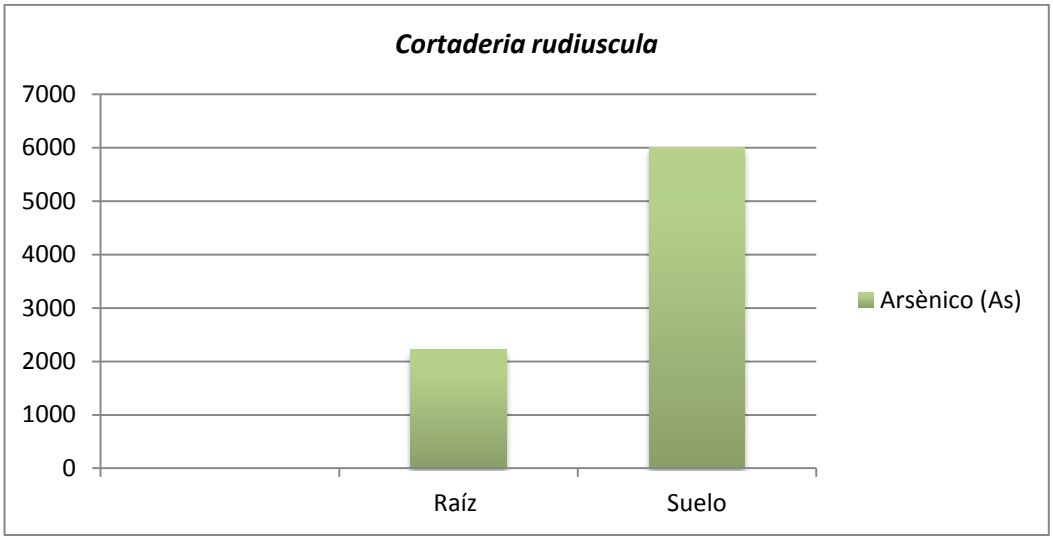


Gráfico N° 30: Concentración de As (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 32: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

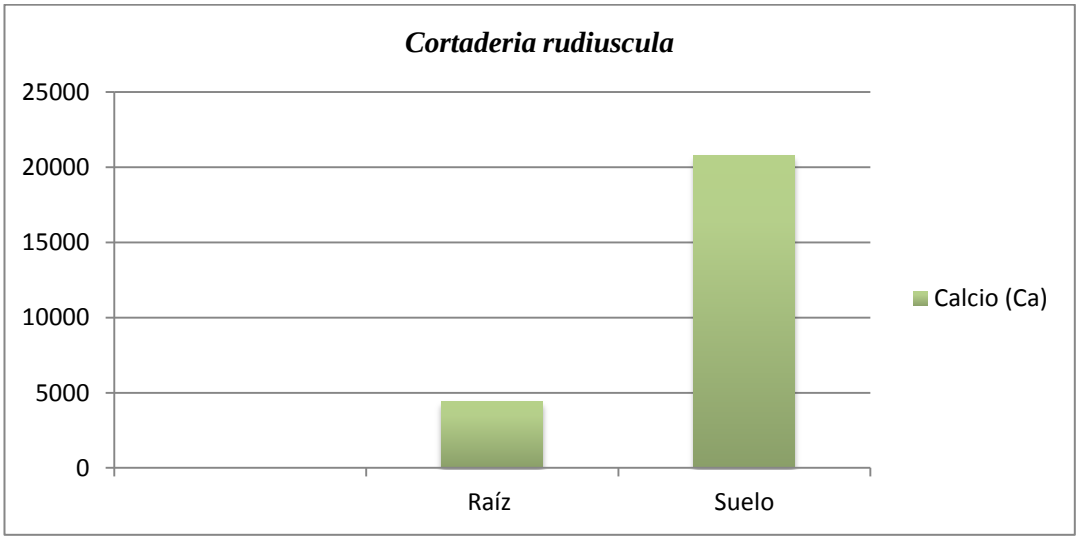


Gráfico N° 31: Concentración de Ca (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 33: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

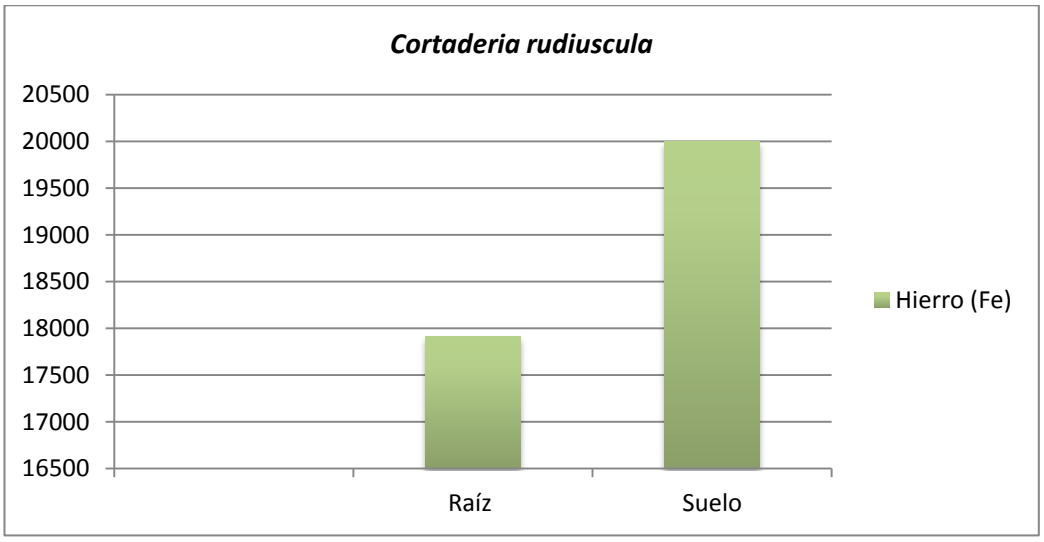


Gráfico N° 32: Concentración de Fe (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 34: Concentración de K (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

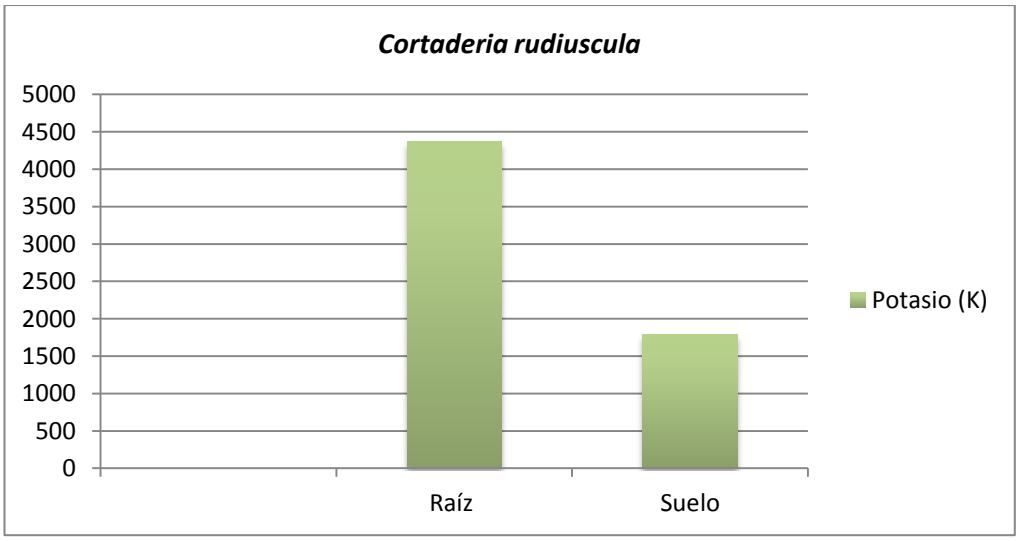


Gráfico N° 33: Concentración de K (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 35: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

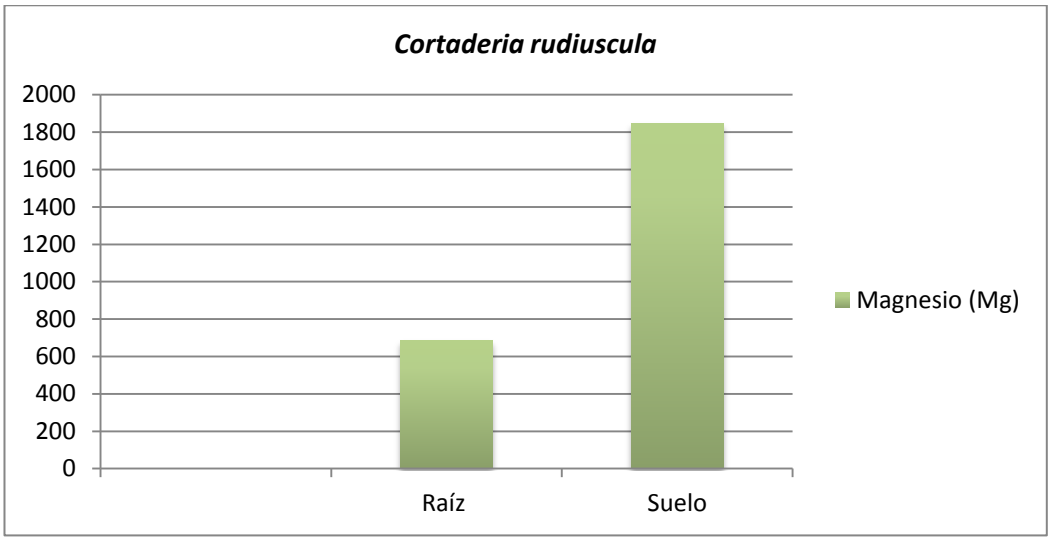


Gráfico N° 34: Concentración de Mg (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 36: Concentración de Mn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

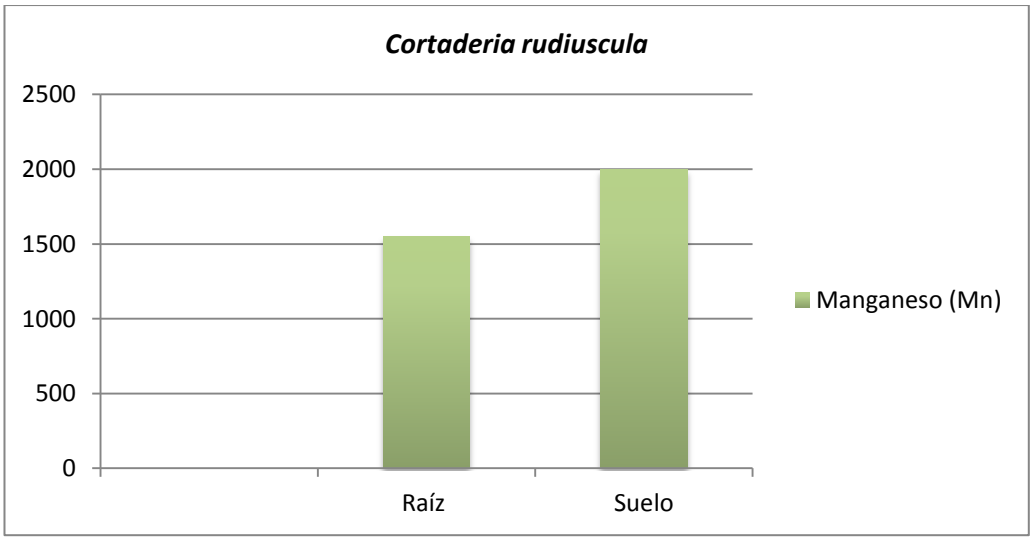


Gráfico N° 35: Concentración de Mn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 37: Concentración de Mn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

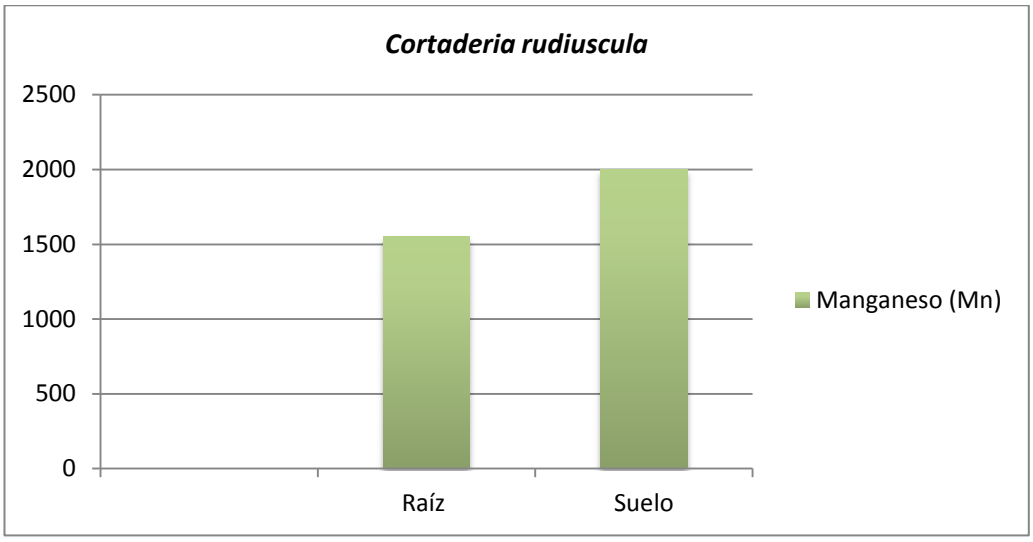


Gráfico N° 36: Concentración de Mn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 38: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

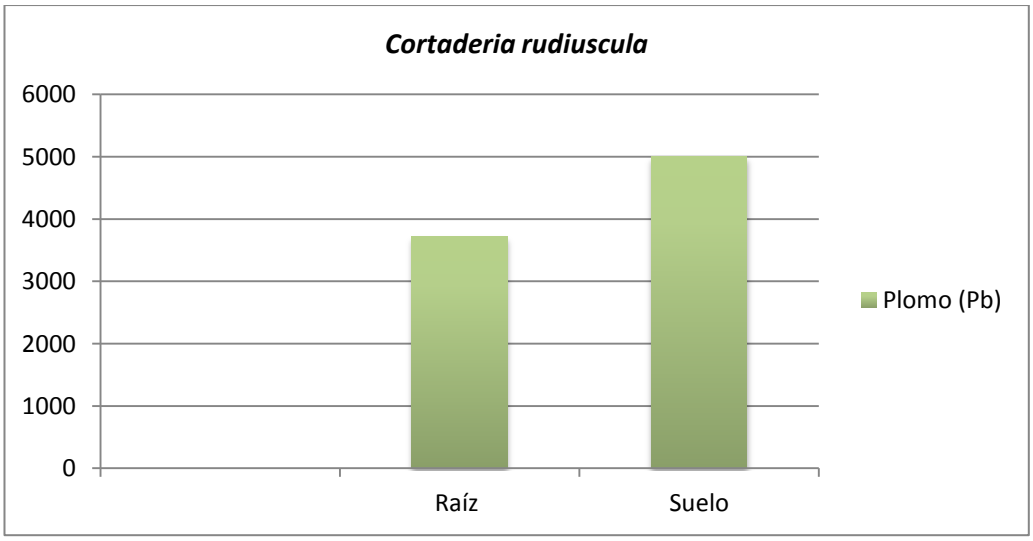


Gráfico N° 37: Concentración de Pb (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 39: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula*.

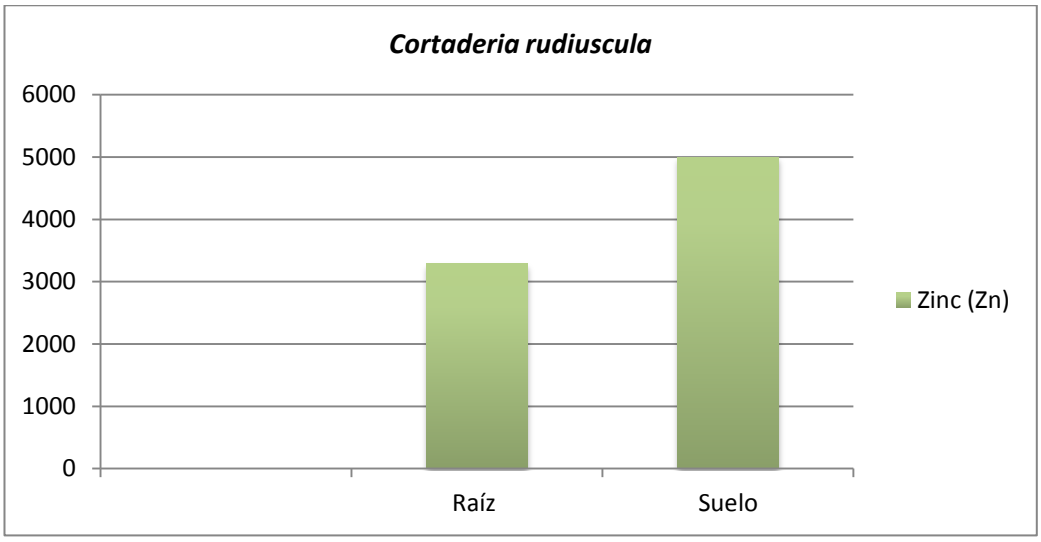


Gráfico N° 38: Concentración de Zn (suelo- parte radicular) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 40: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

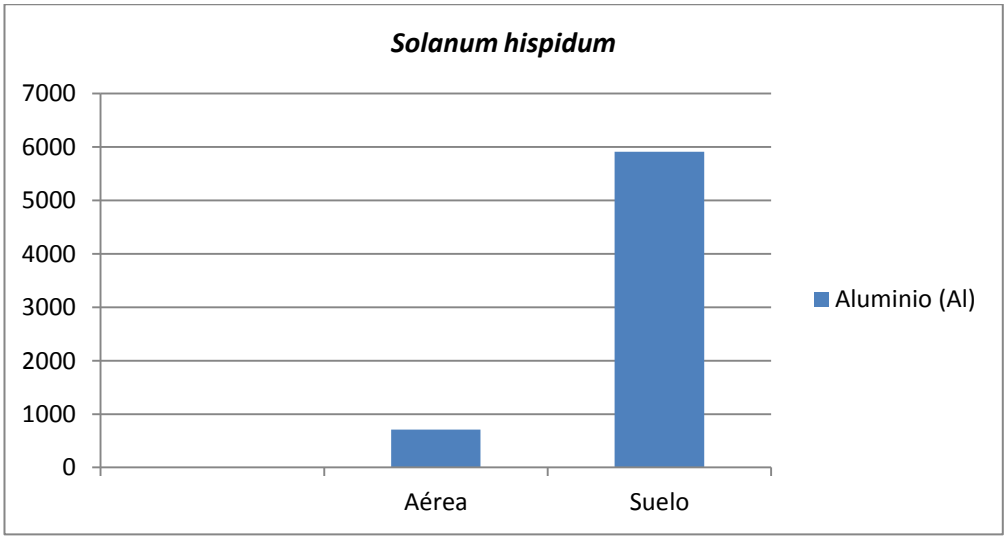


Gráfico N° 39: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 41: Concentración de As (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

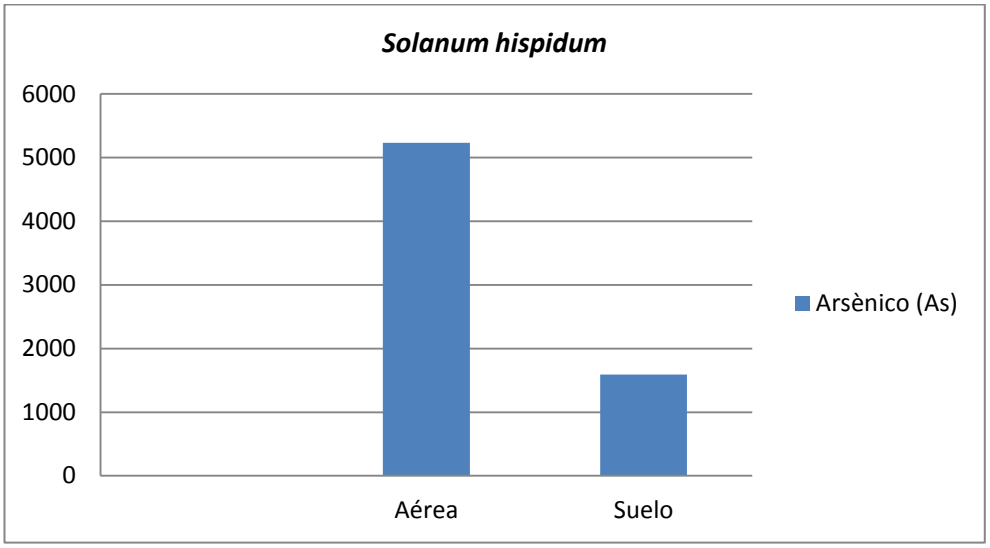


Gráfico N° 40: Concentración de As (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 42: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

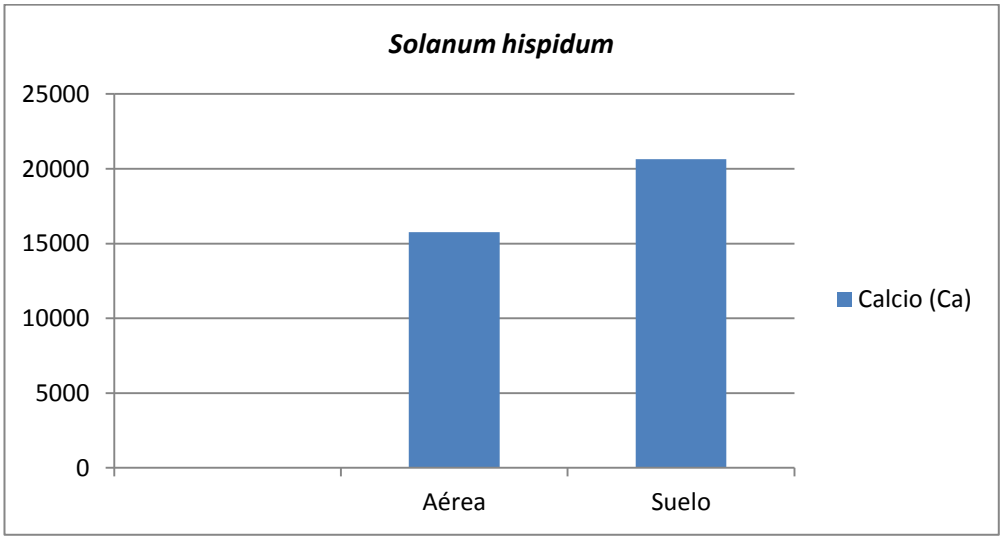


Gráfico N° 41: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 43: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

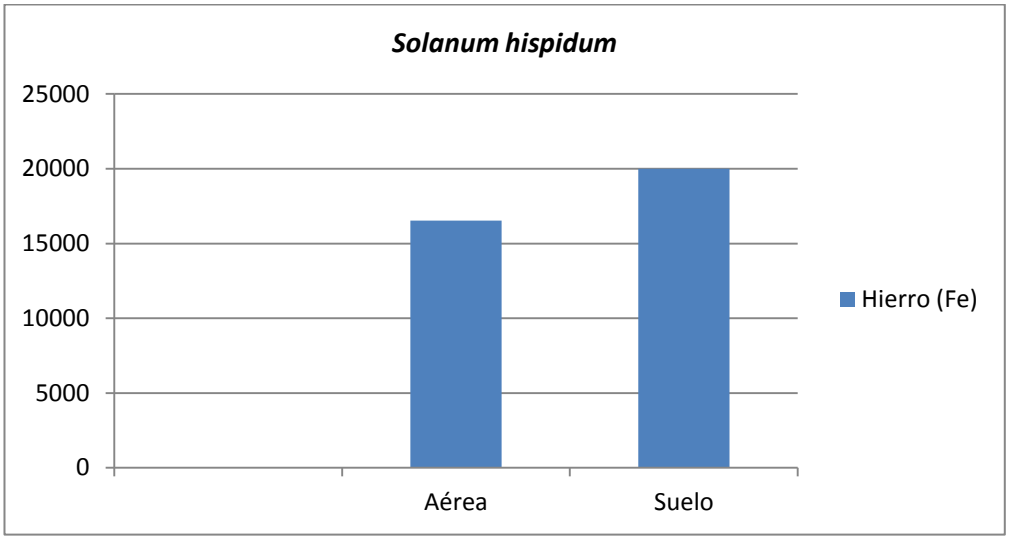


Gráfico N° 42: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 44: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

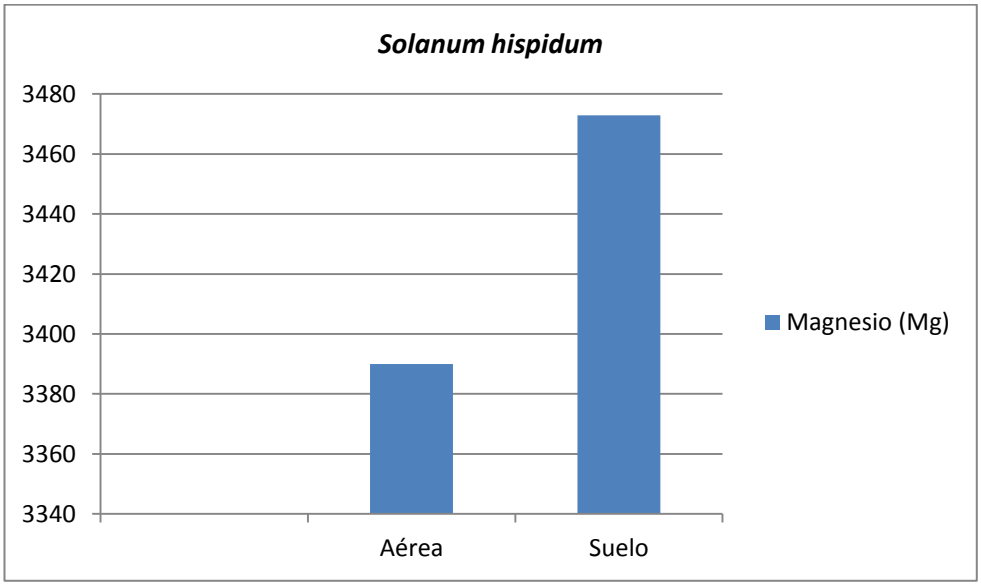


Gráfico N° 43: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 45: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

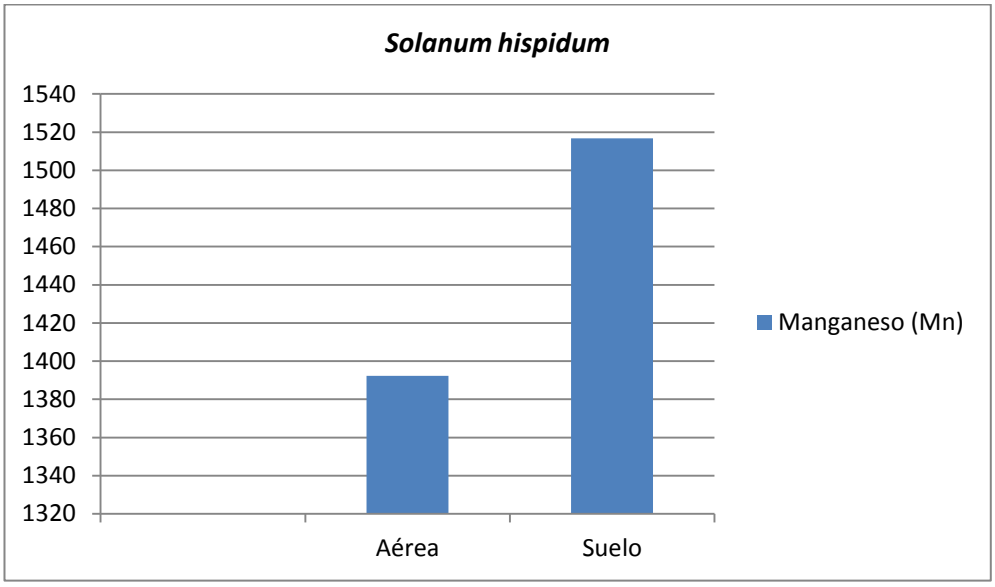


Gráfico N° 44: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 46: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

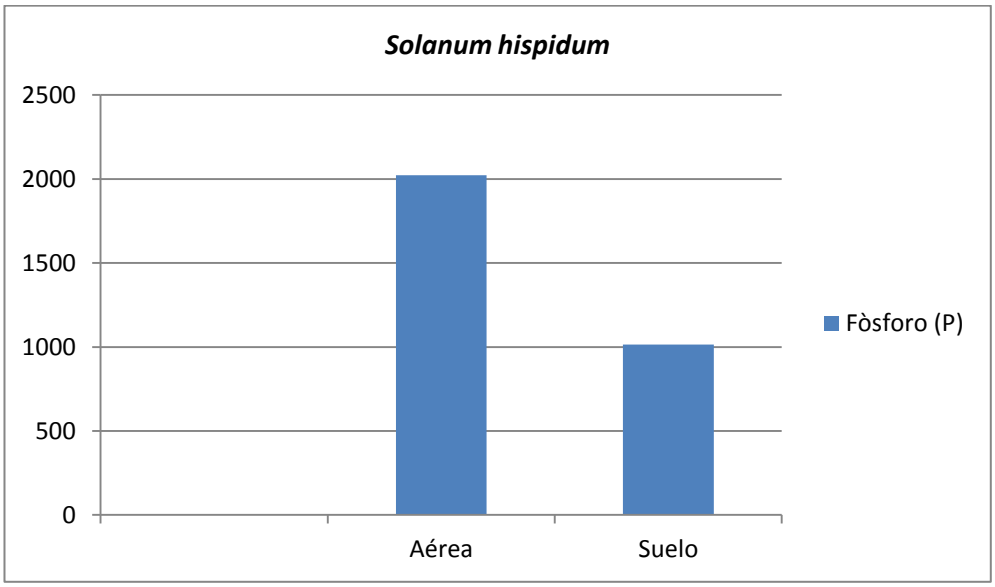


Gráfico N° 45: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum.*

Anexo N° 47: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

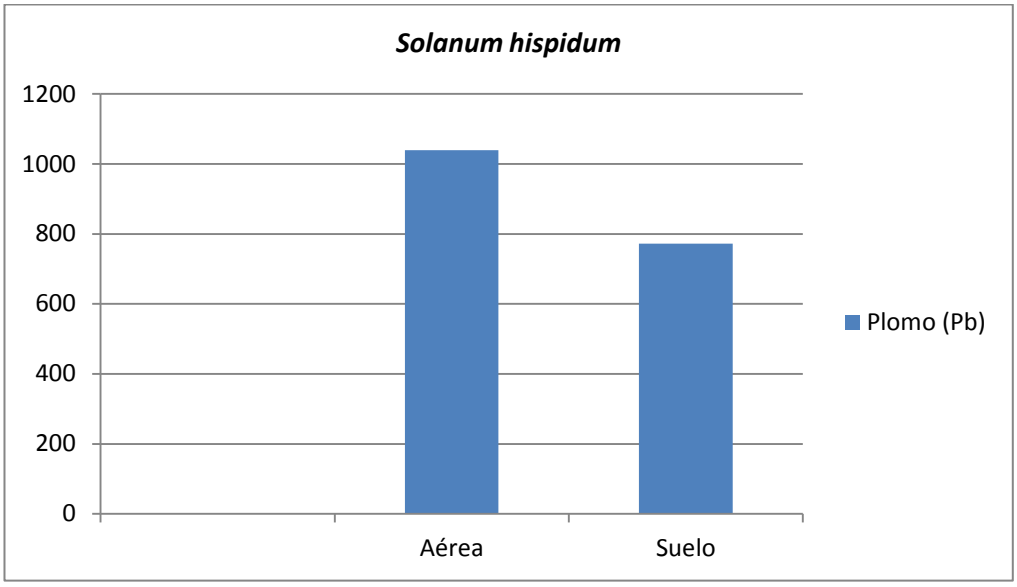


Gráfico N° 46: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

Anexo N° 48: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

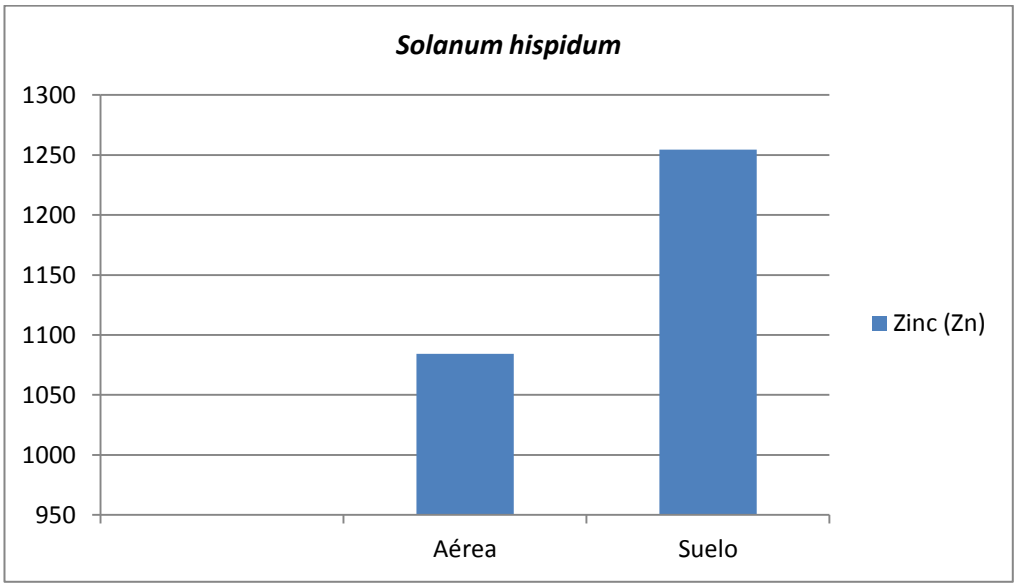


Gráfico N° 47: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Solanum hispidum*.

Anexo N° 49: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

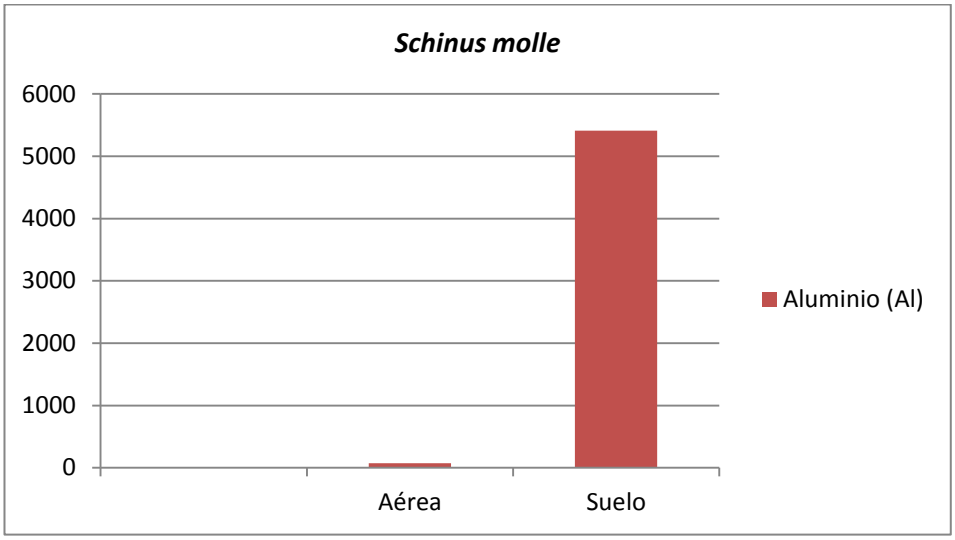


Gráfico N° 48: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 50: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

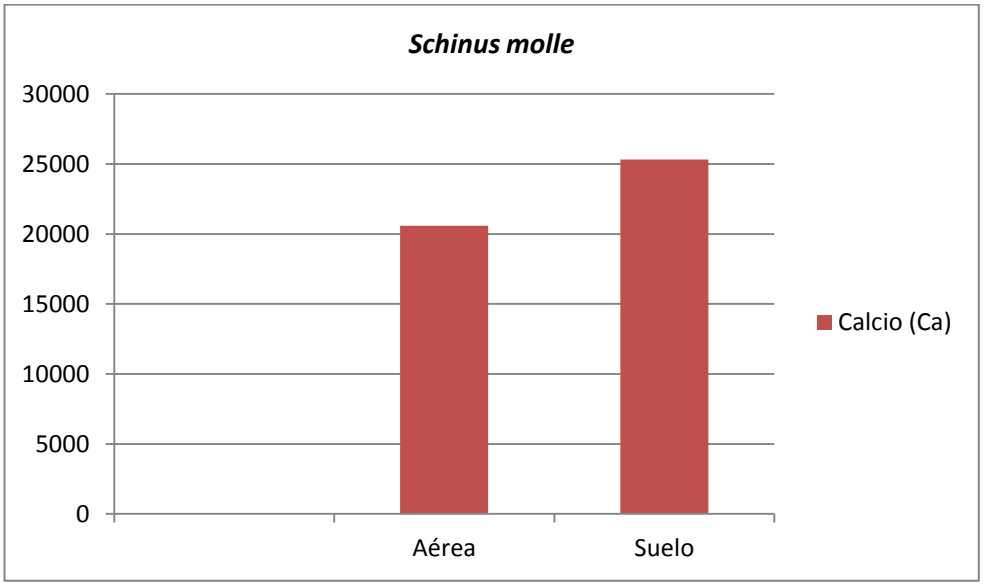


Gráfico N° 49: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 51: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

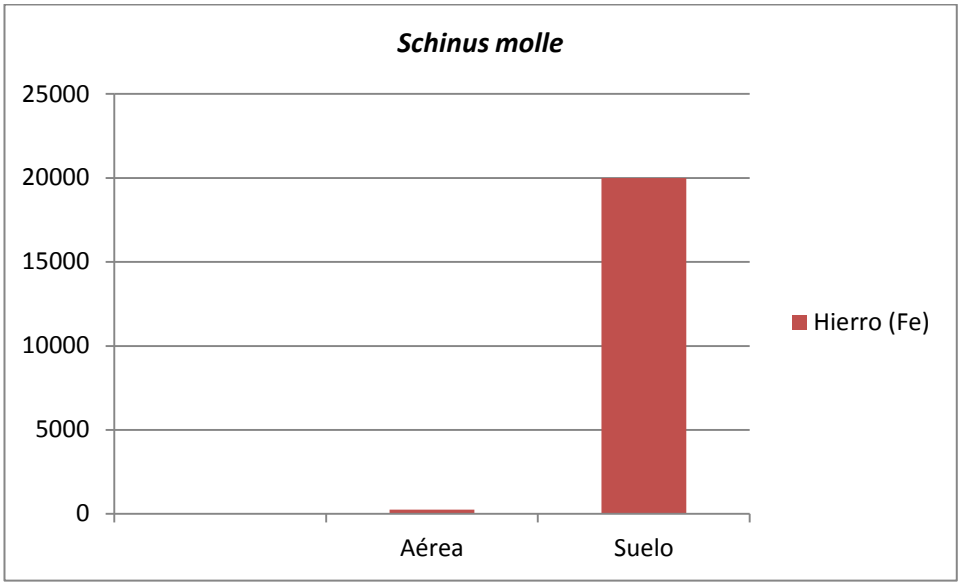


Gráfico N° 50: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 52: Concentración de K (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

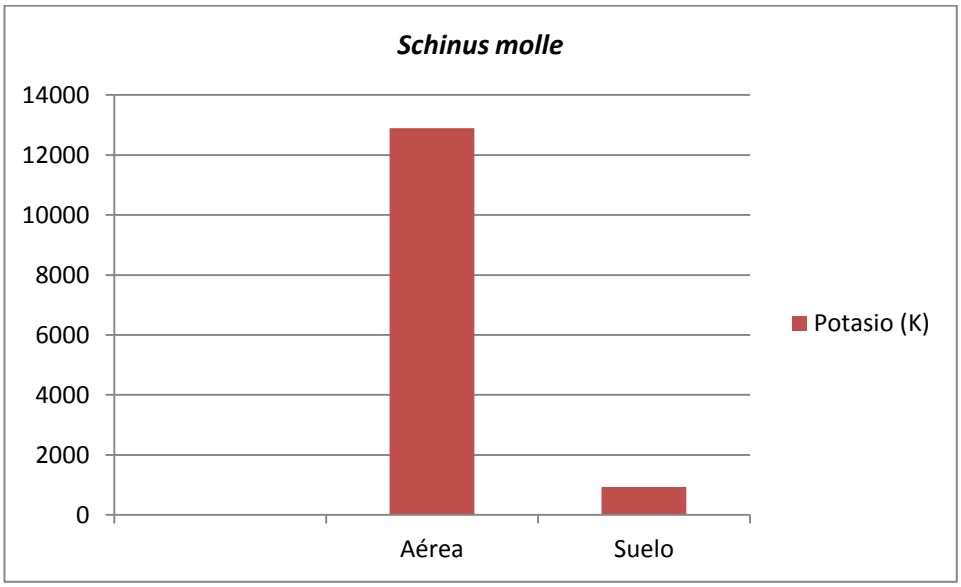


Gráfico N° 51: Concentración de K (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 53: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

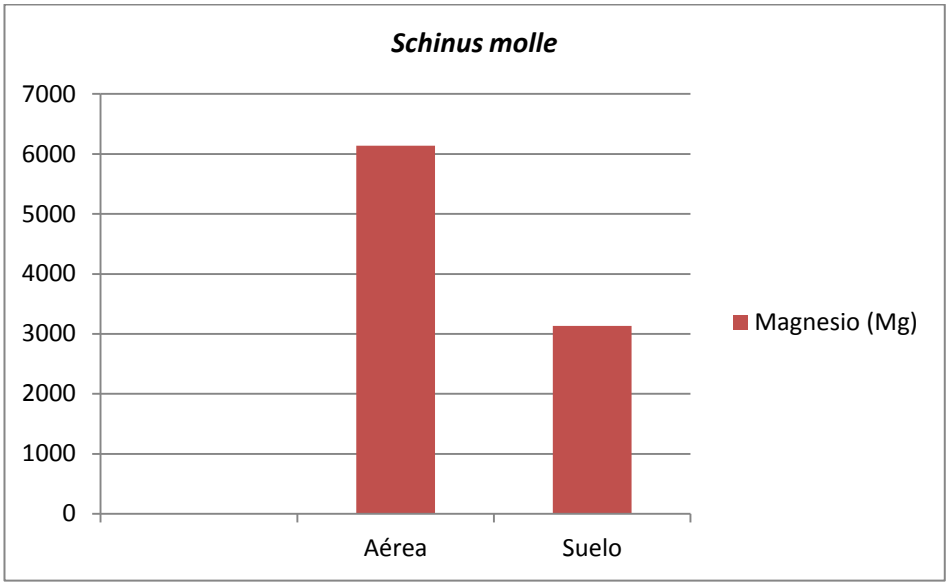


Gráfico N° 52: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

Anexo N° 54: Concentración de P (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

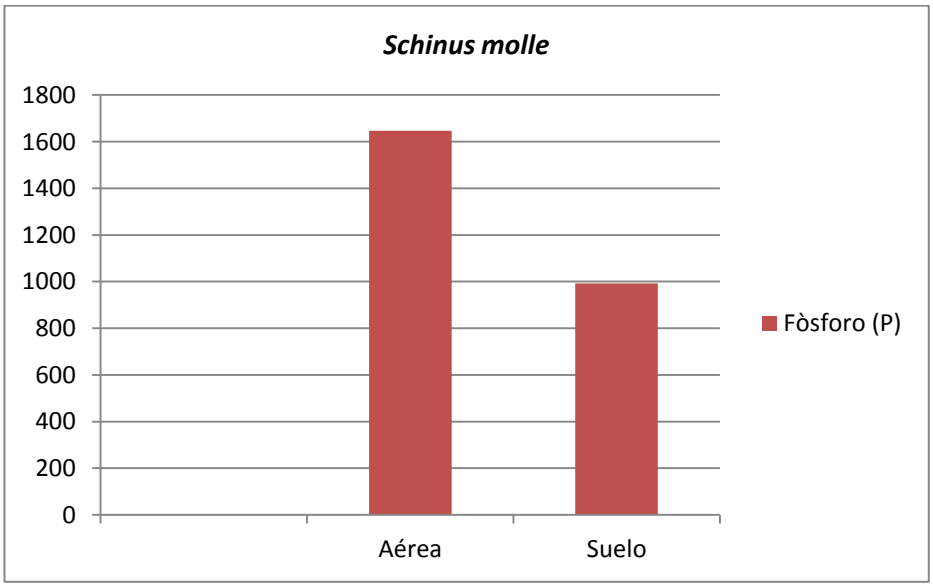


Gráfico N° 53: Concentración de P (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 55: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

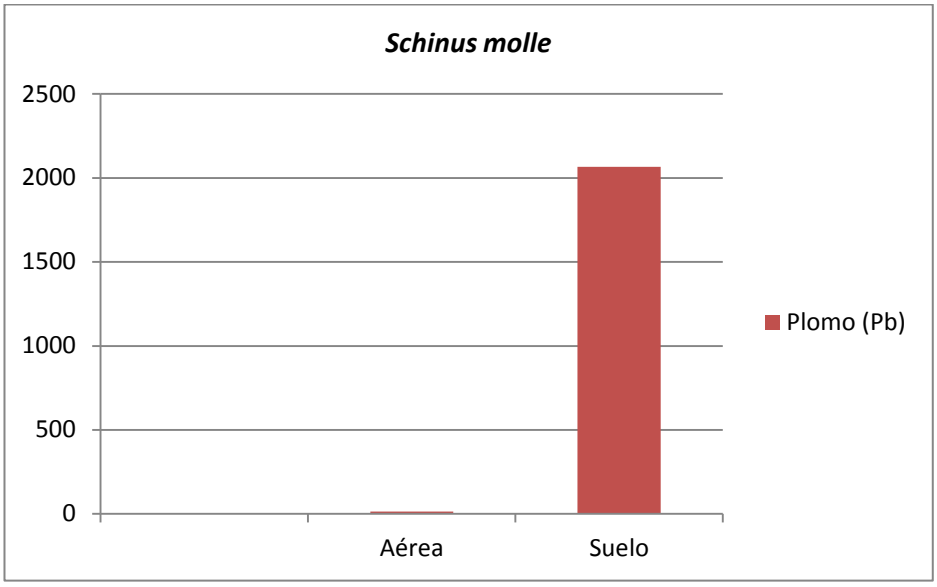


Gráfico N° 54: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Schinus molle.*

Anexo N° 56: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

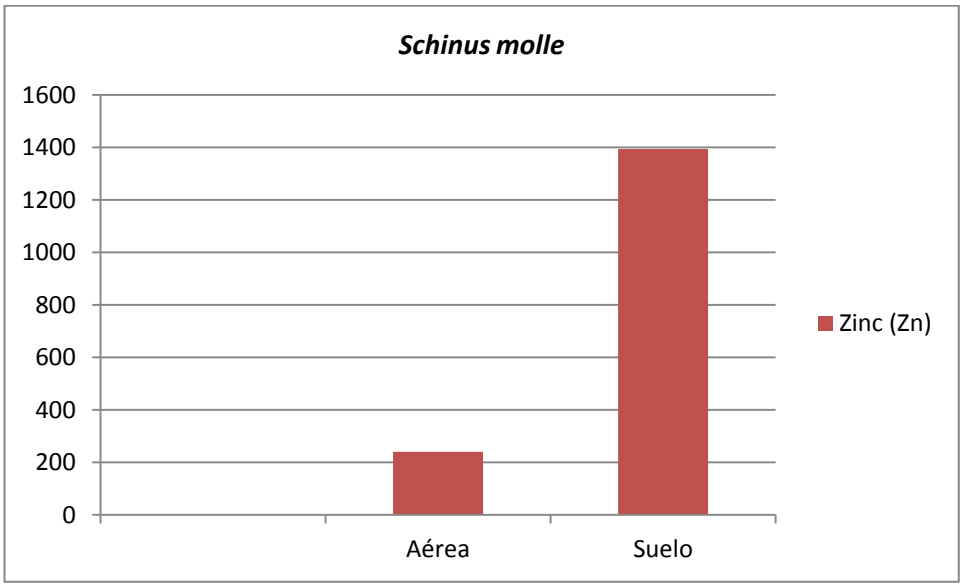


Gráfico N° 55: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Schinus molle*.

Anexo N° 57: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

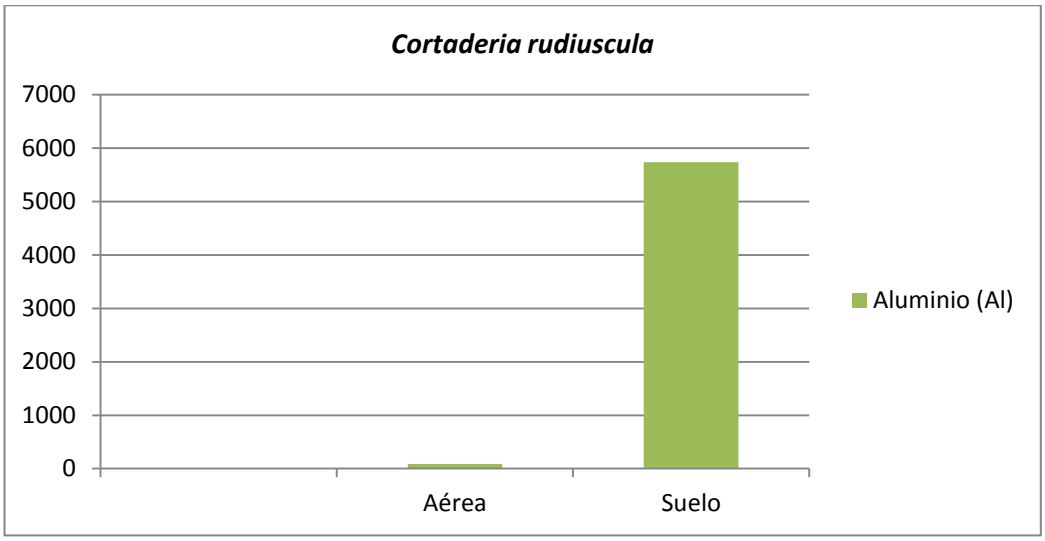


Gráfico N° 56: Concentración de Al (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 58: Concentración de As (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

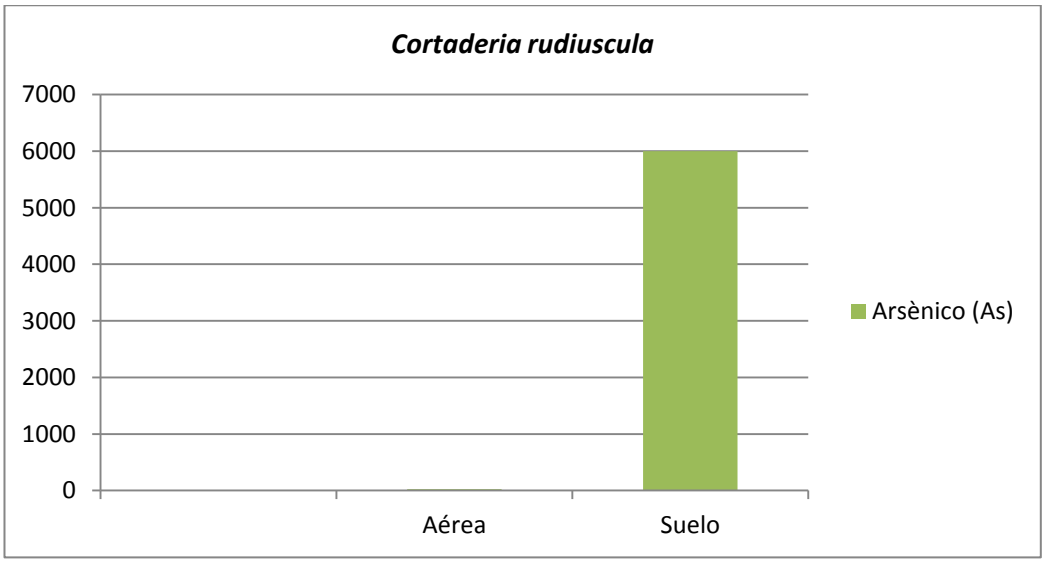


Gráfico N° 57: Concentración de As (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 59: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

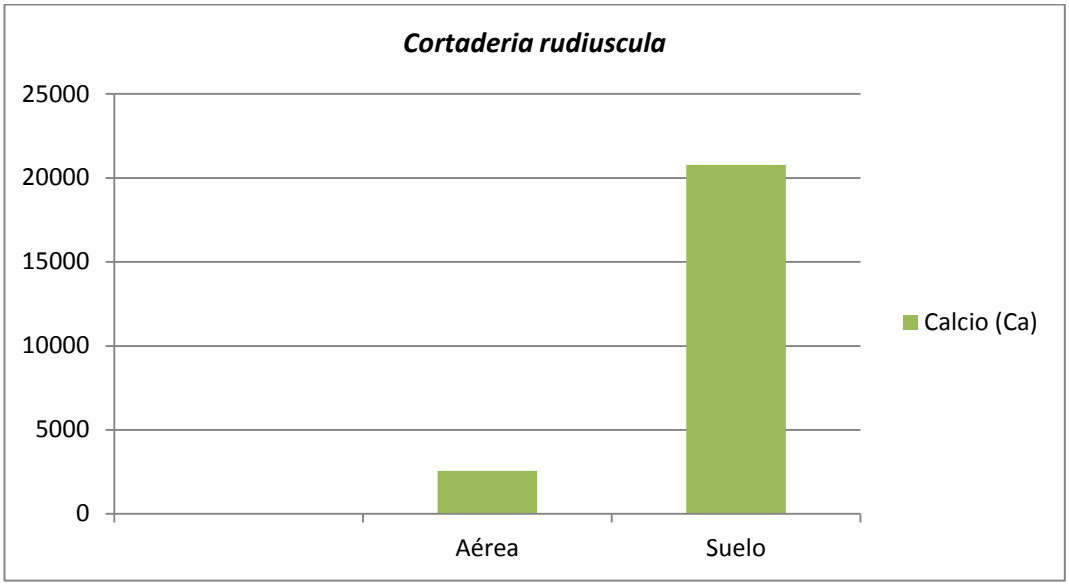


Gráfico N° 58: Concentración de Ca (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 60: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

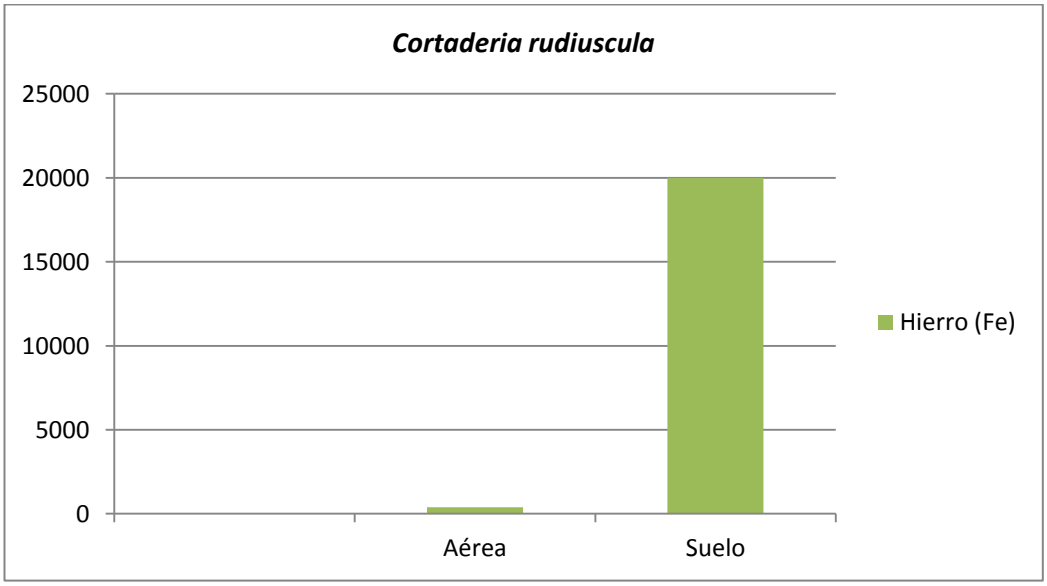


Gráfico N° 59: Concentración de Fe (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 61: Concentración de K (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

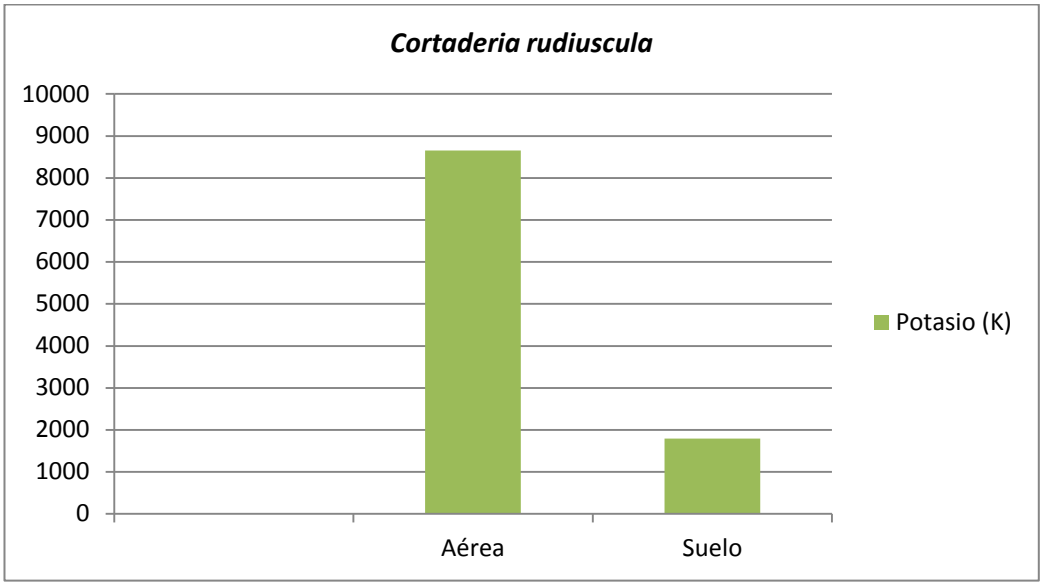


Gráfico N° 60: Concentración de K (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 62: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

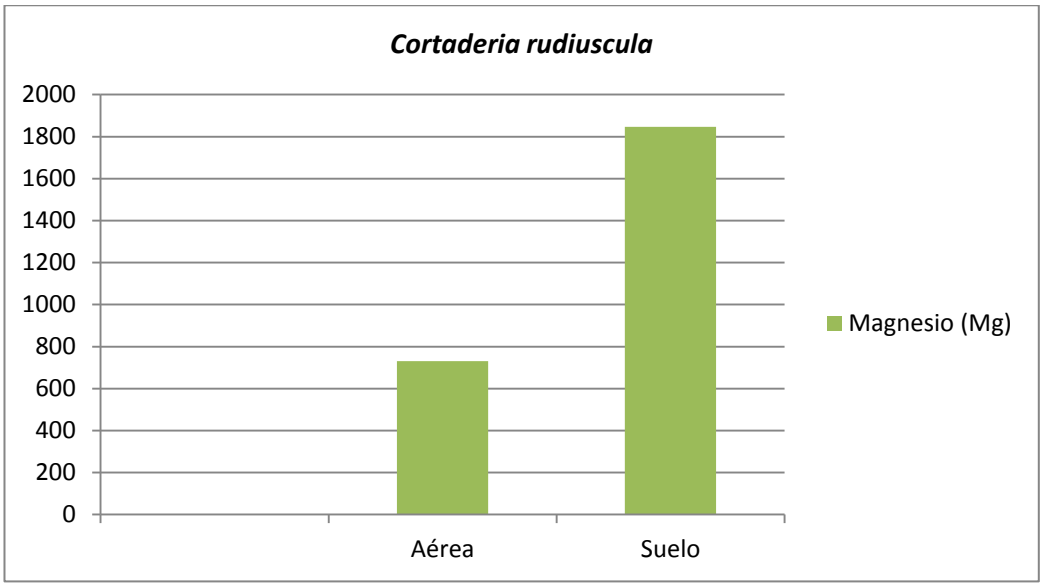


Gráfico N° 61: Concentración de Mg (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 63: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

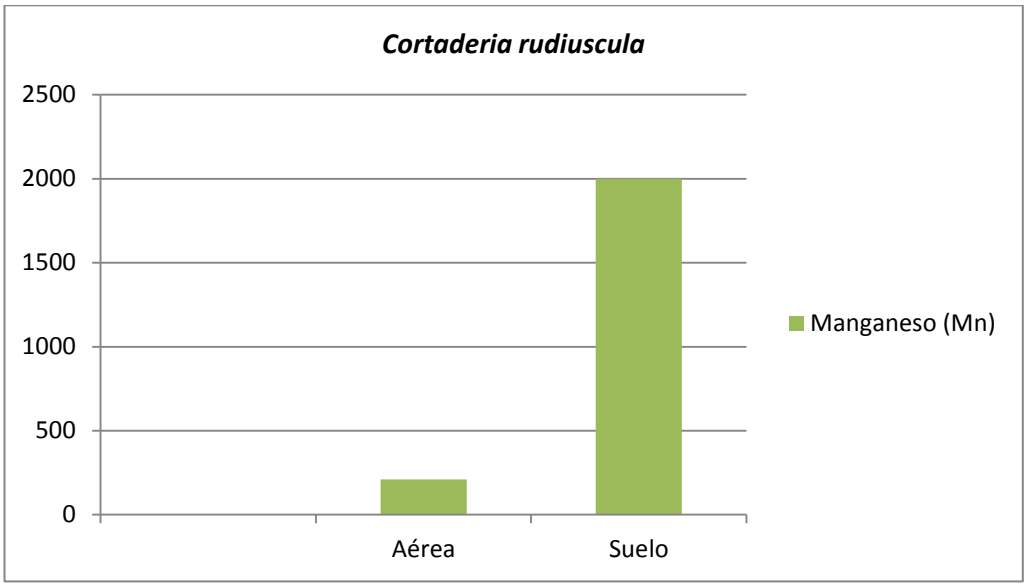


Gráfico N° 62: Concentración de Mn (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 64: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

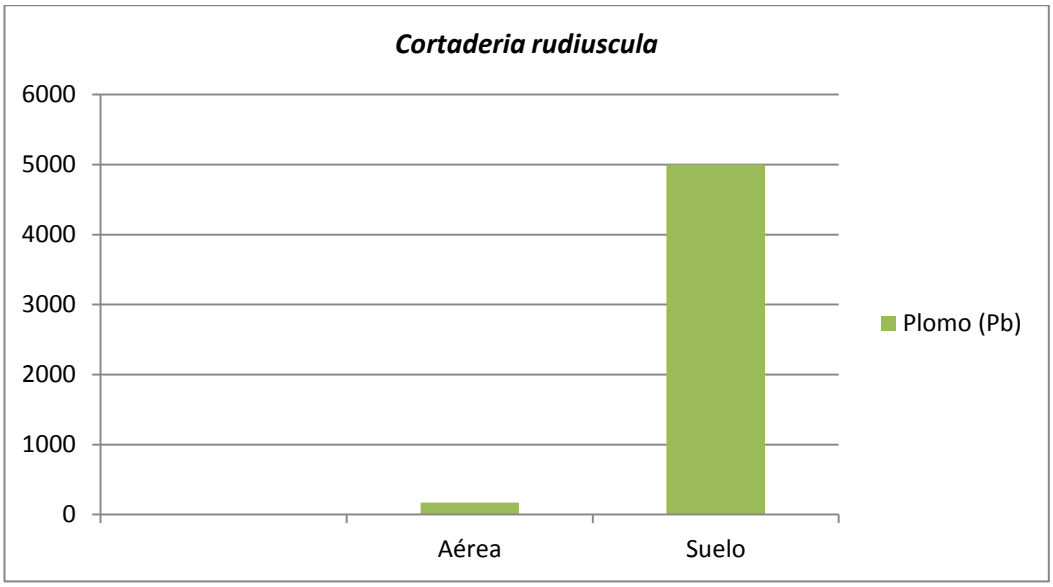


Gráfico N° 63: Concentración de Pb (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 65: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula*.

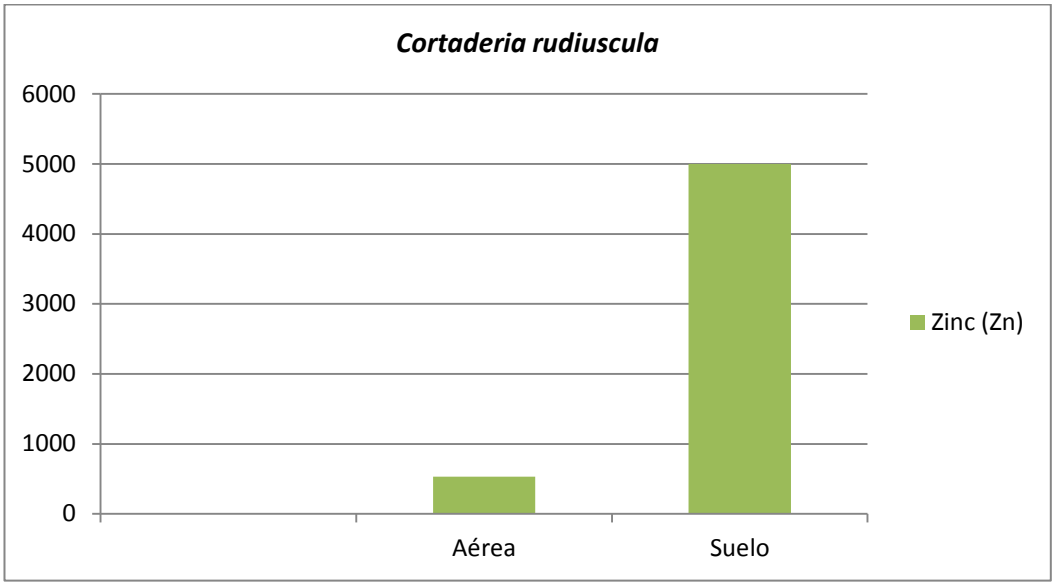


Gráfico N° 64: Concentración de Zn (suelo- parte aérea) en *Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 66: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

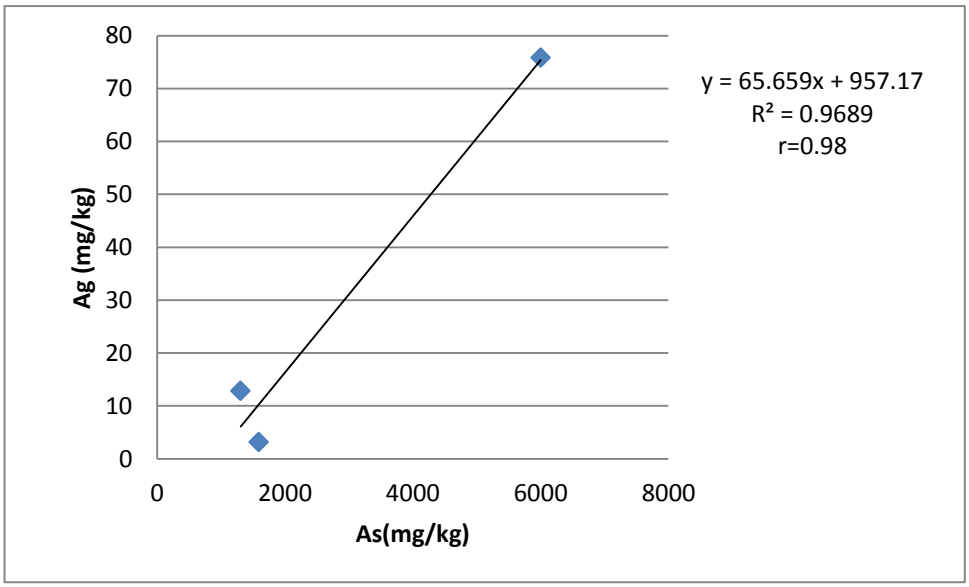


Gráfico N° 65: Correlación de la concentración del Ag y As en el suelo

Anexo N° 67: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

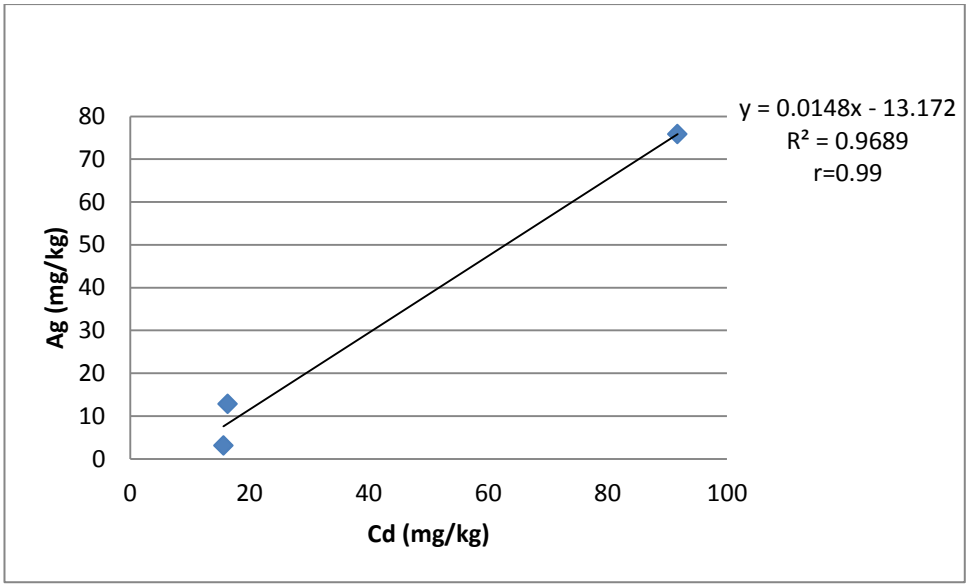


Gráfico N° 66: Correlación de la concentración del Ag y Cd en el suelo.

Anexo N° 68: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

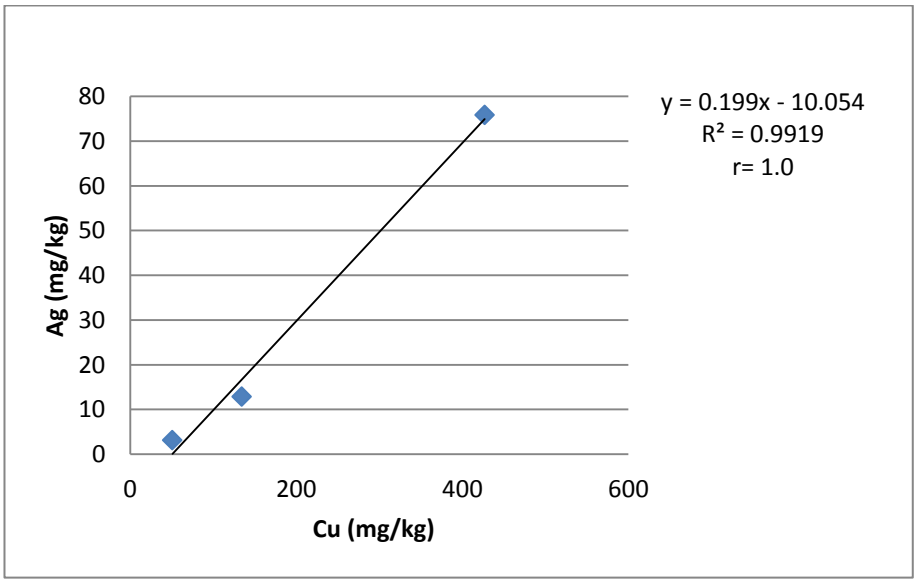


Gráfico N° 67: Correlación de la concentración del Ag y Cu en el suelo.

Anexo N° 69: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

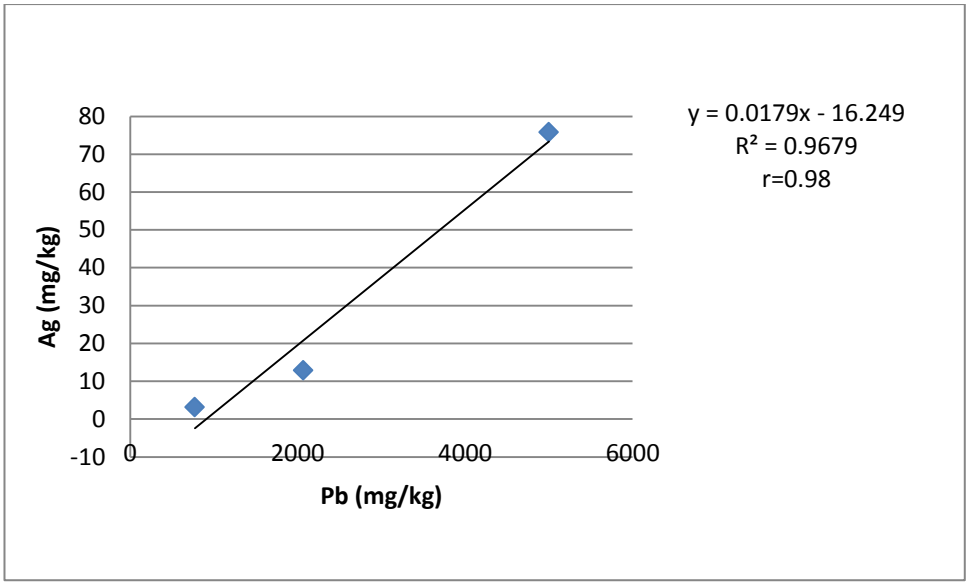


Gráfico N° 68: Correlación de la concentración del Ag y Pb en el suelo.

Anexo N° 70: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

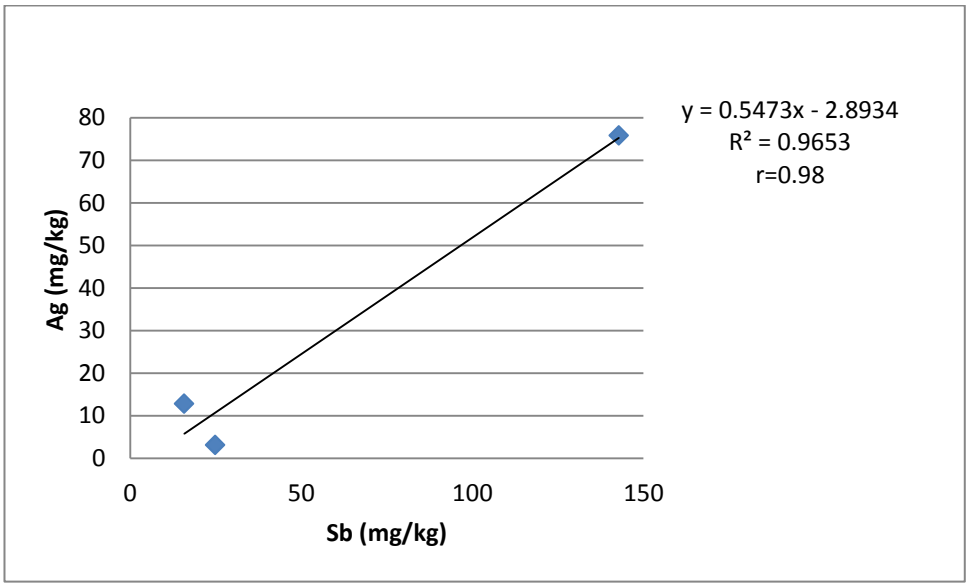


Gráfico N° 69: Correlación de la concentración del Ag y Sb en el suelo.

Anexo N° 71: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

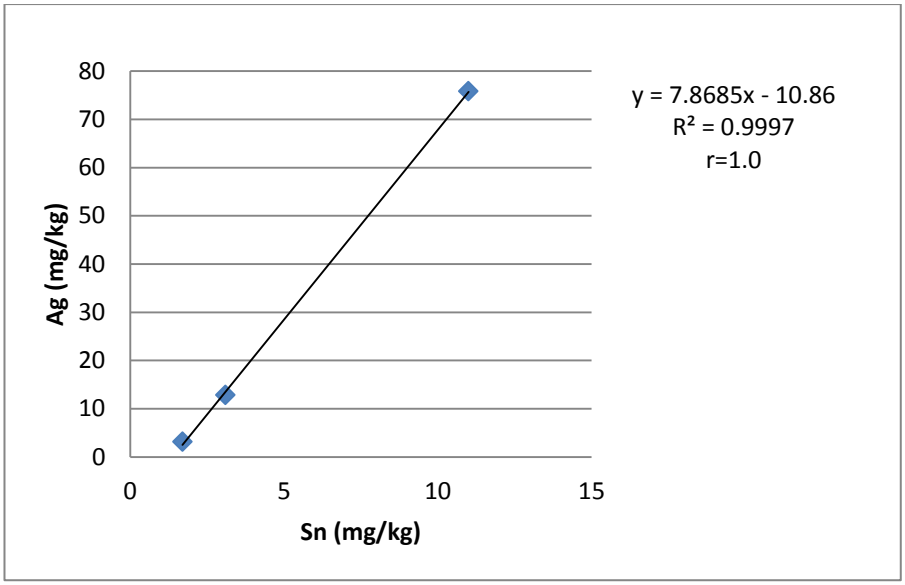


Gráfico N° 70: Correlación de la concentración del Ag y Sn en el suelo.

Anexo N° 72: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

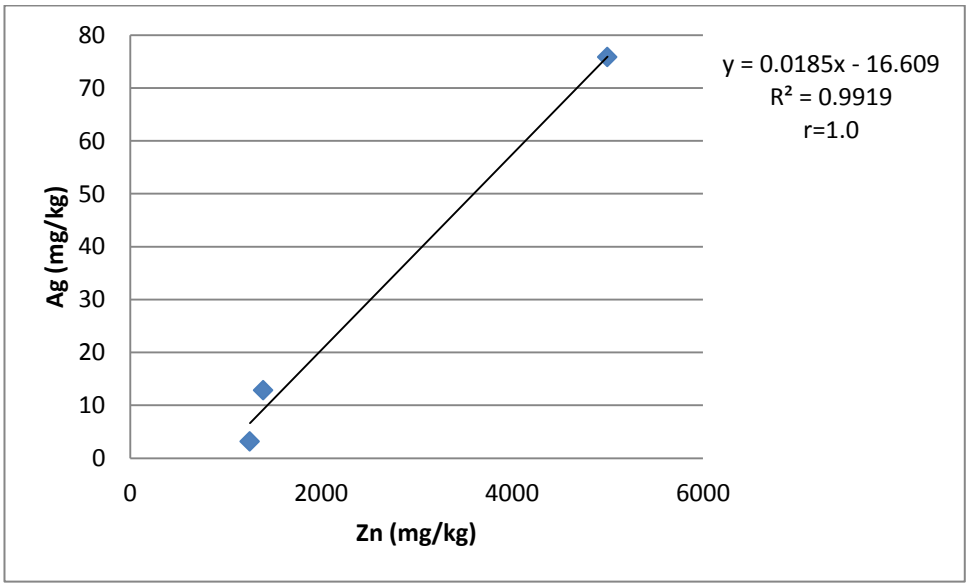


Gráfico N° 71: Correlación de la concentración del Ag y Zn en el suelo.

Anexo N° 73: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

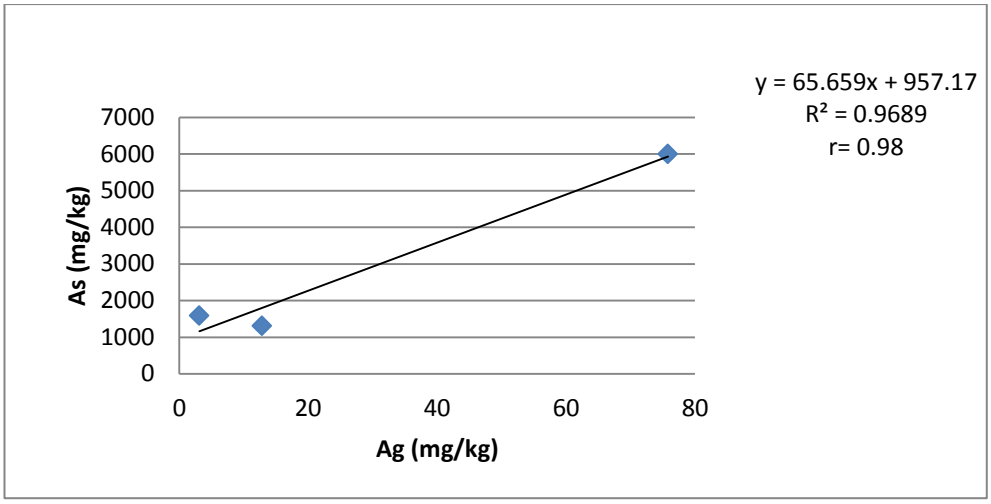


Gráfico N° 72: Correlación de la concentración del As y Ag en el suelo.

Anexo N° 74: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

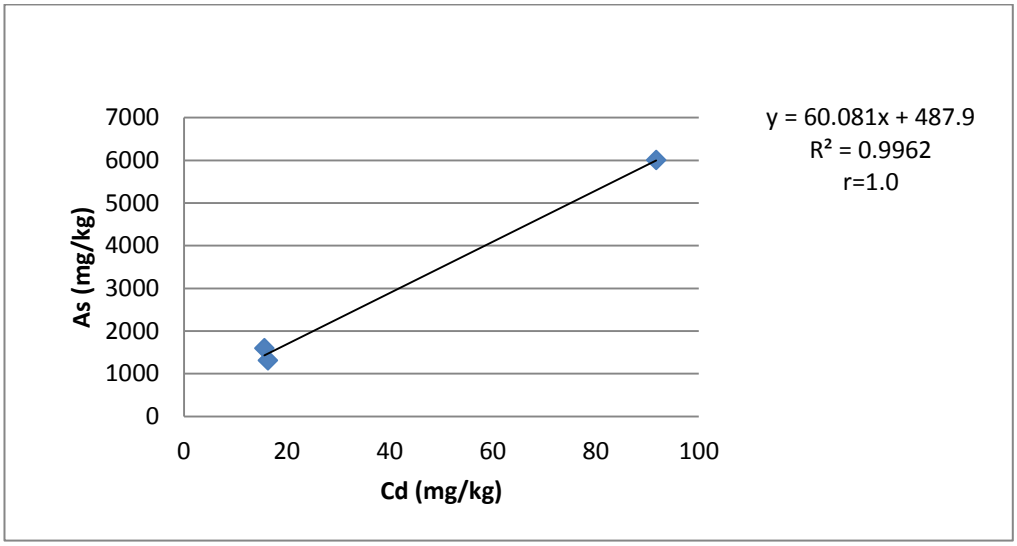


Gráfico N° 73: Correlación de la concentración del As y Cd en el suelo.

Anexo N° 75: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

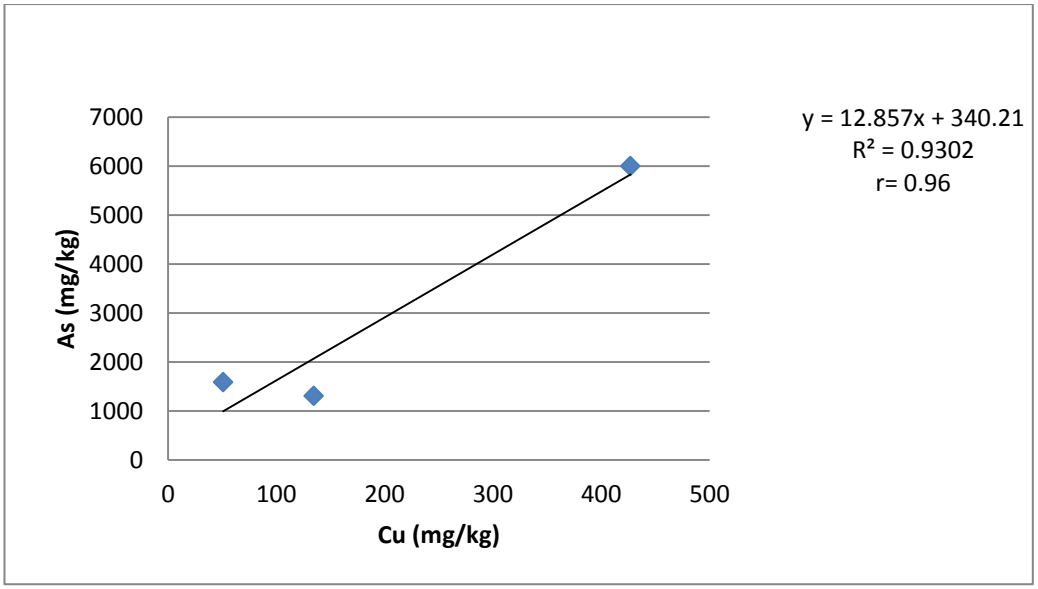


Gráfico N° 74: Correlación de la concentración del As y Cu en el suelo.

Anexo N° 76: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

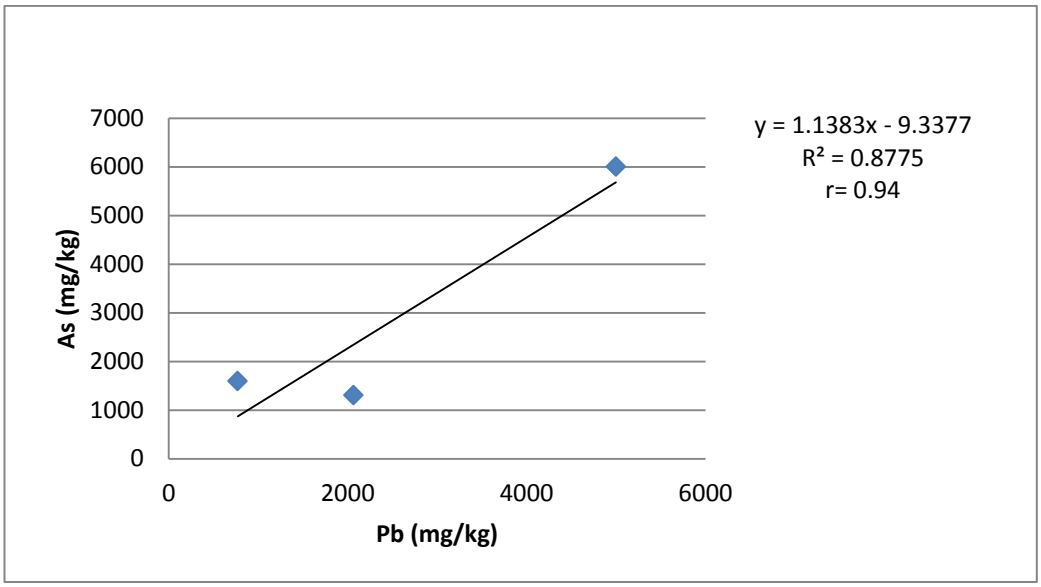


Gráfico N° 75: Correlación de la concentración del As y Pb en el suelo.

Anexo N° 77: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

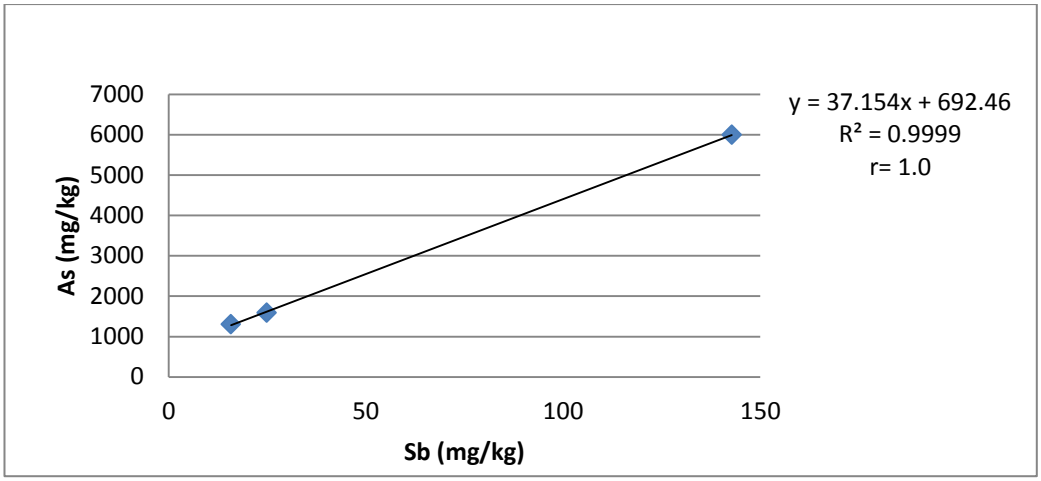


Gráfico N° 76: Correlación de la concentración del As y Sb en el suelo.

Anexo N° 78: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

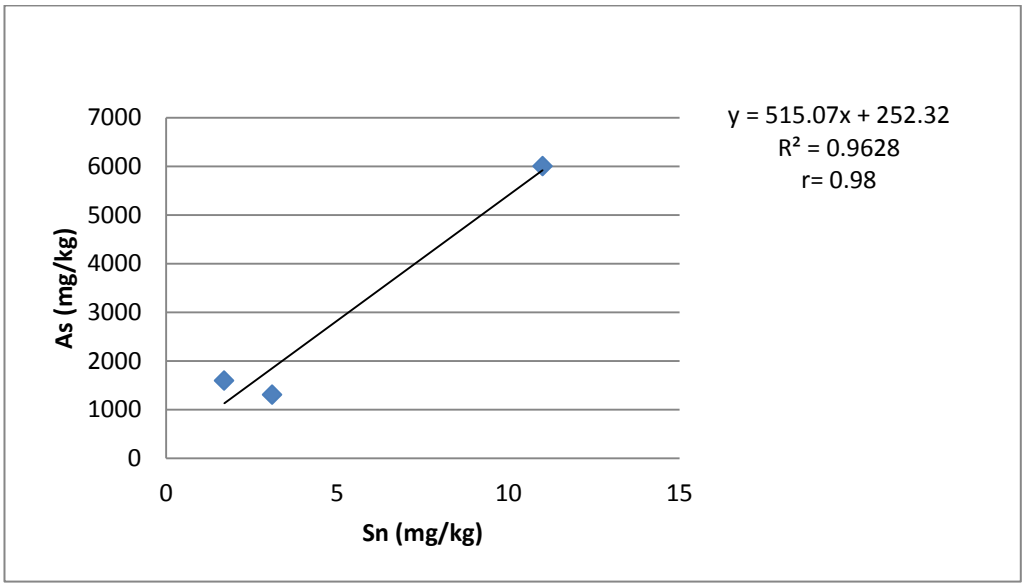


Gráfico N° 77: Correlación de la concentración del As y Sn en el suelo.

Anexo N° 79: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

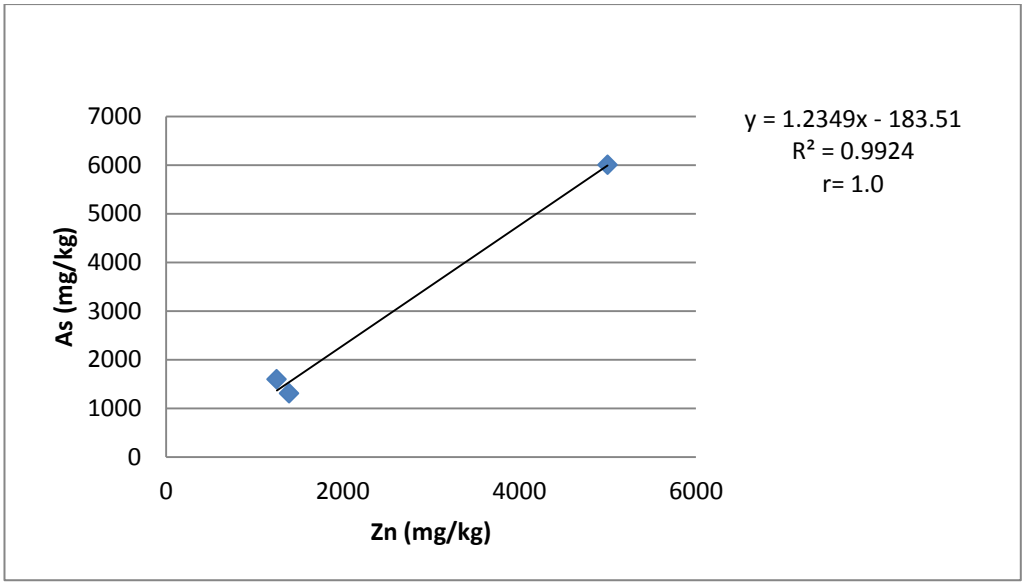


Gráfico N° 78: Correlación de la concentración del As y Zn en el suelo.

Anexo N° 80: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

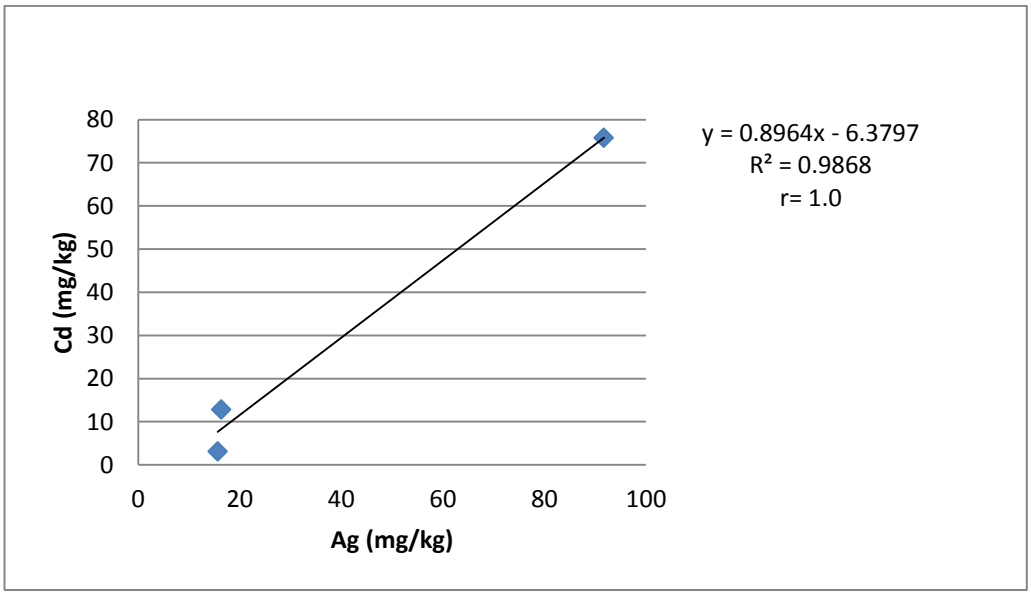


Gráfico N° 79: Correlación de la concentración del Cd y Ag en el suelo.

Anexo N° 81: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

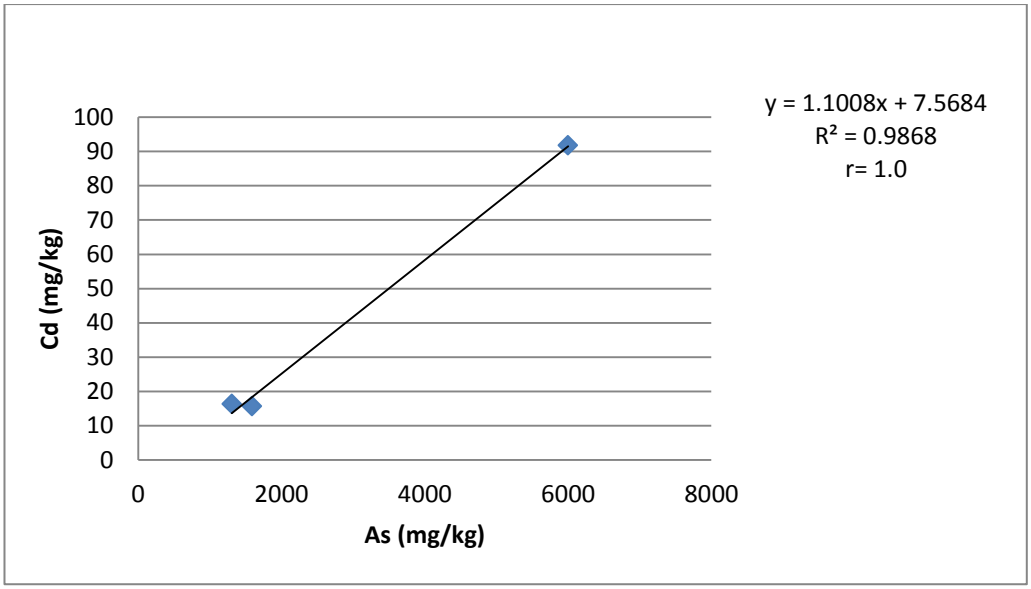


Gráfico N° 80: Correlación de la concentración del Cd y As en el suelo.

Anexo N° 82: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

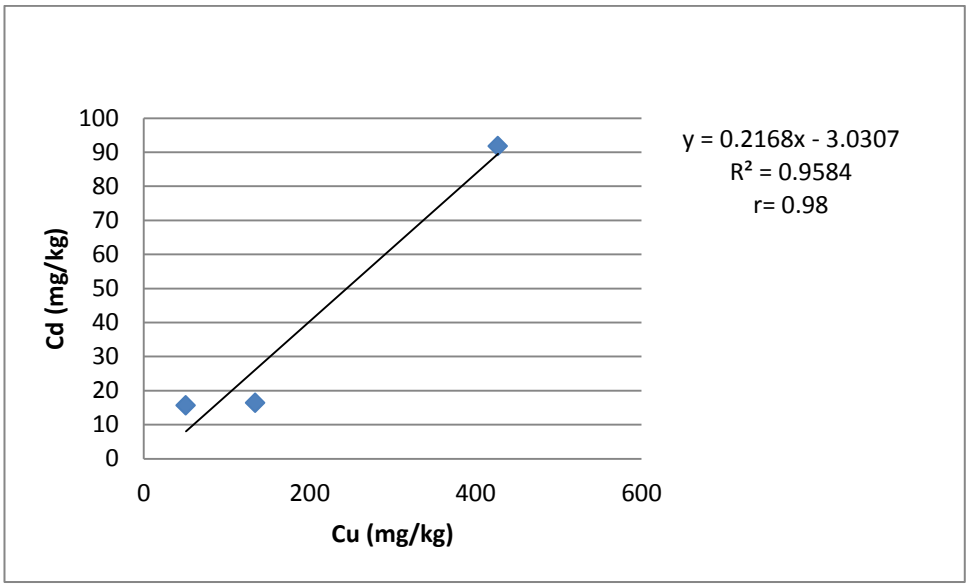


Gráfico N° 81: Correlación de la concentración del Cd y Cu en el suelo.

Anexo N° 83: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

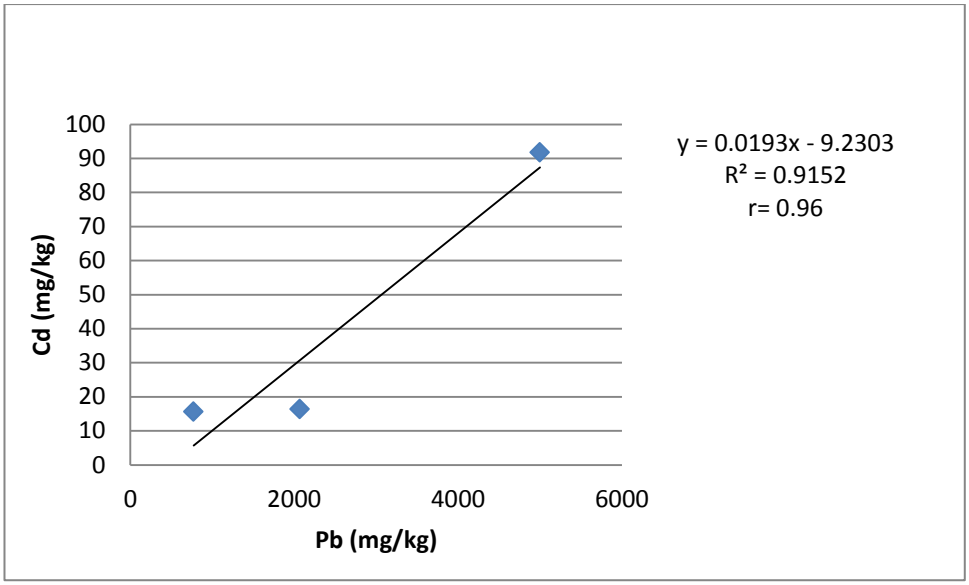


Gráfico N° 82: Correlación de la concentración del Cd y Pb en el suelo.

Anexo N° 84: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

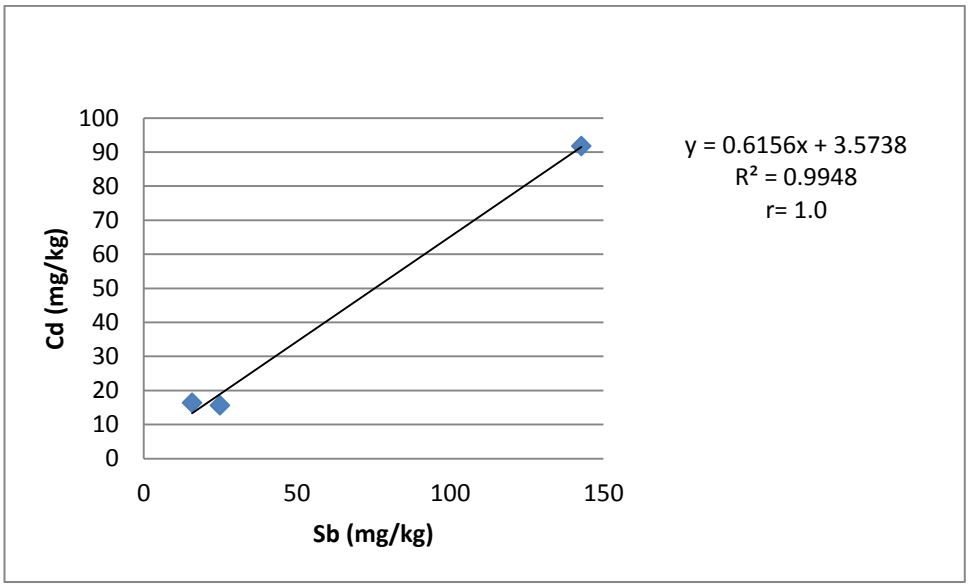


Gráfico N° 83: Correlación de la concentración del Cd y Sb en el suelo.

Anexo N° 85: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

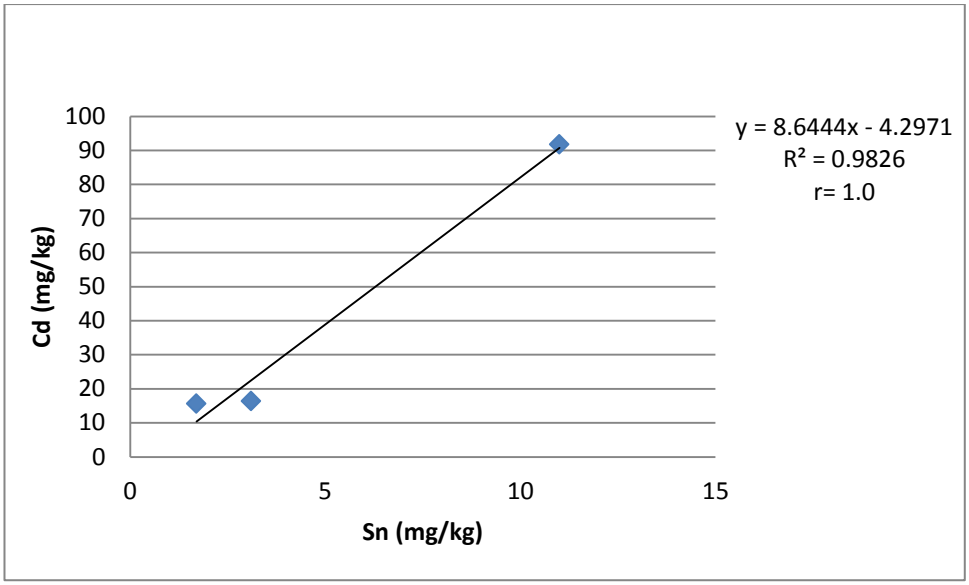


Gráfico N° 84: Correlación de la concentración del Cd y Sn en el suelo.

Anexo N° 86: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

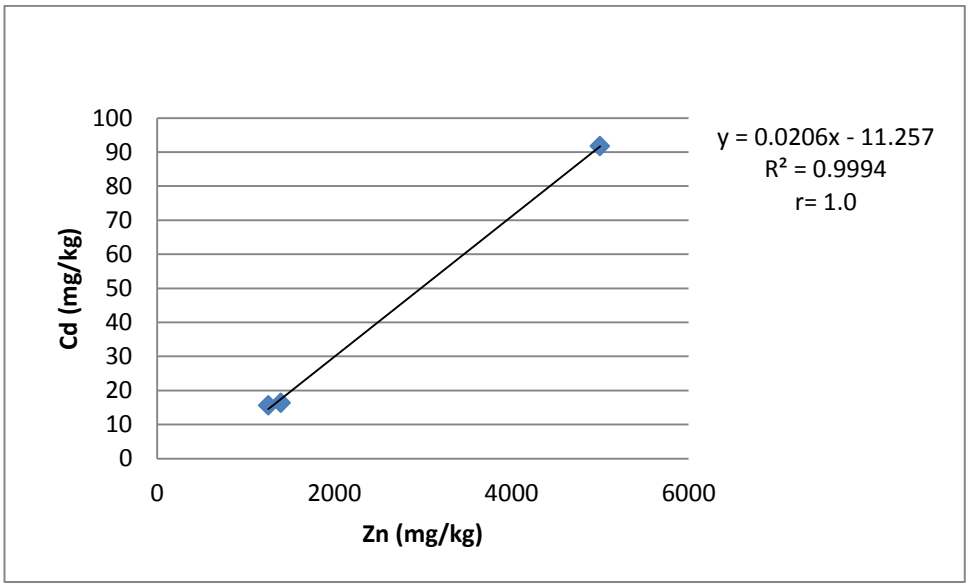


Gráfico N° 85: Correlación de la concentración del Cd y Zn en el suelo.

Anexo N° 87: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

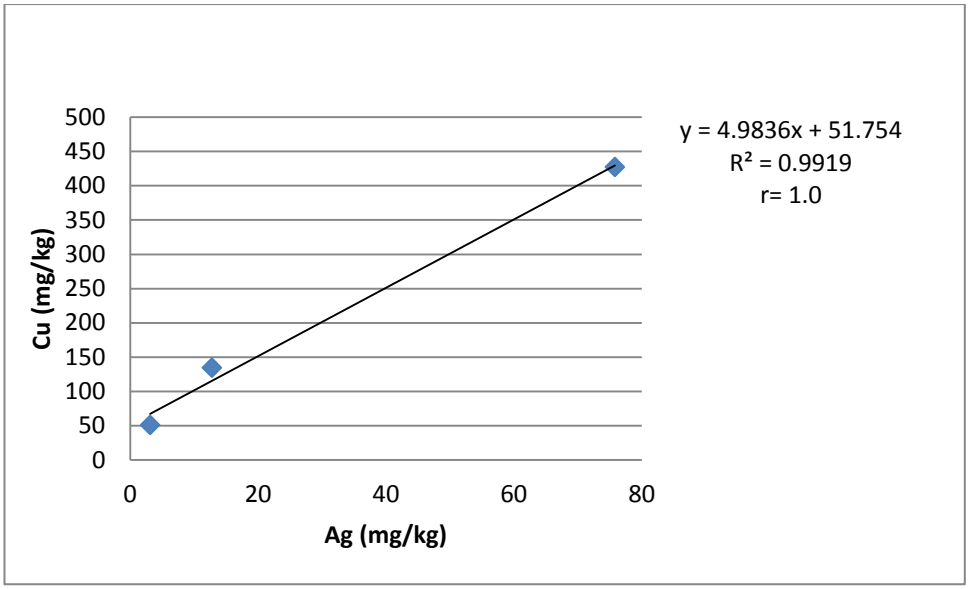


Gráfico N° 86: Correlación de la concentración del Cu y Ag en el suelo.

Anexo N° 88: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

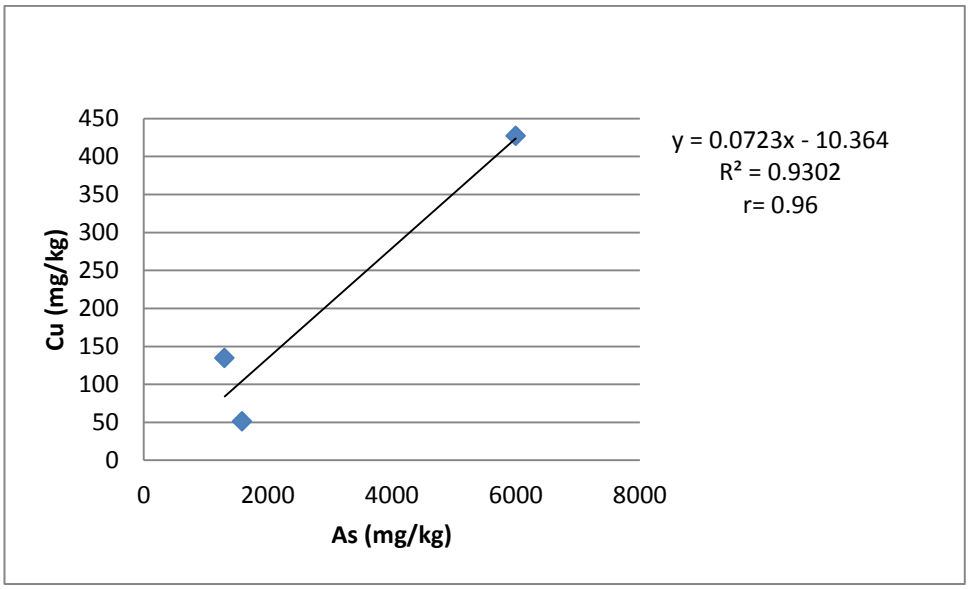


Gráfico N° 87: Correlación de la concentración del Cu y As en el suelo.

Anexo N° 89: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

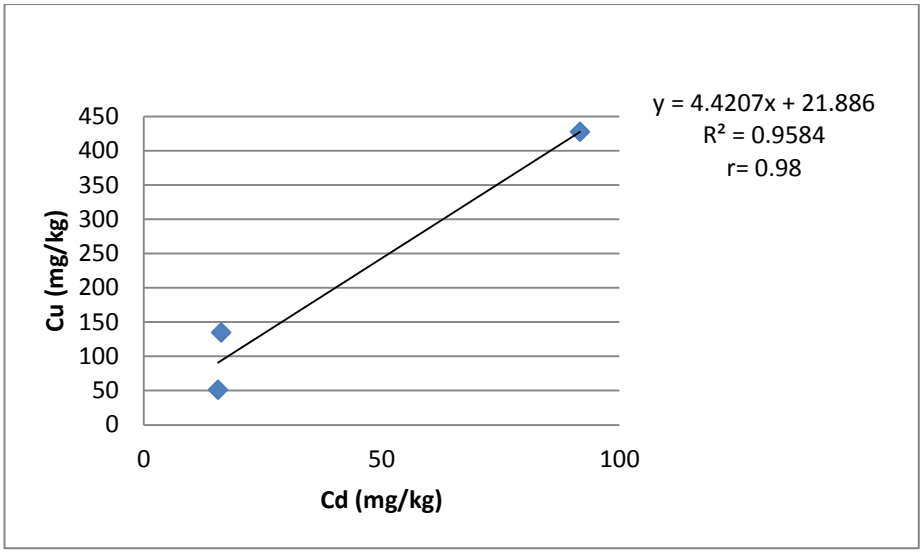


Gráfico N° 88: Correlación de la concentración del Cu y Cd en el suelo.

Anexo N° 90: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

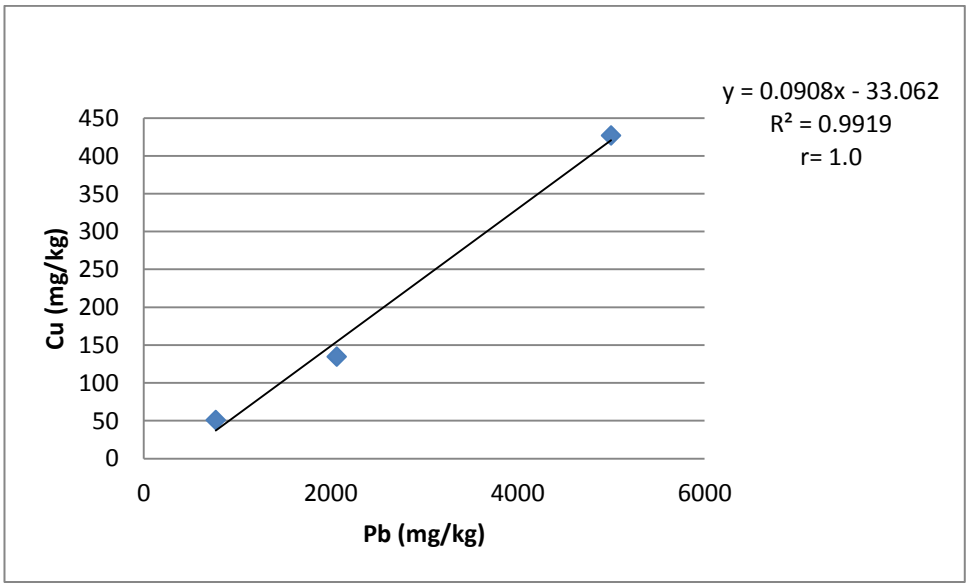


Gráfico N° 89: Correlación de la concentración del Cu y Pb en el suelo.

Anexo N° 91: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

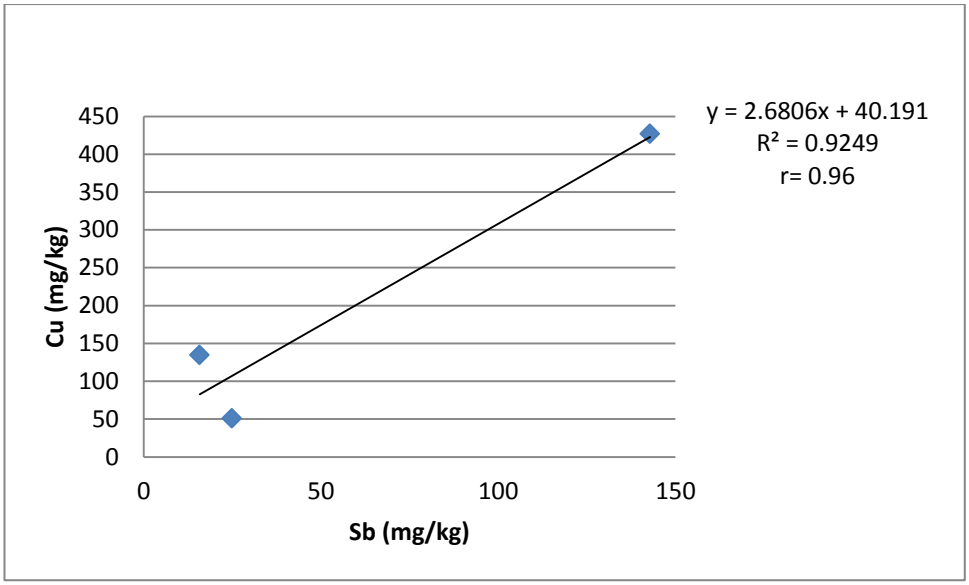


Gráfico N° 90: Correlación de la concentración del Cu y Sb en el suelo.

Anexo N° 92: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

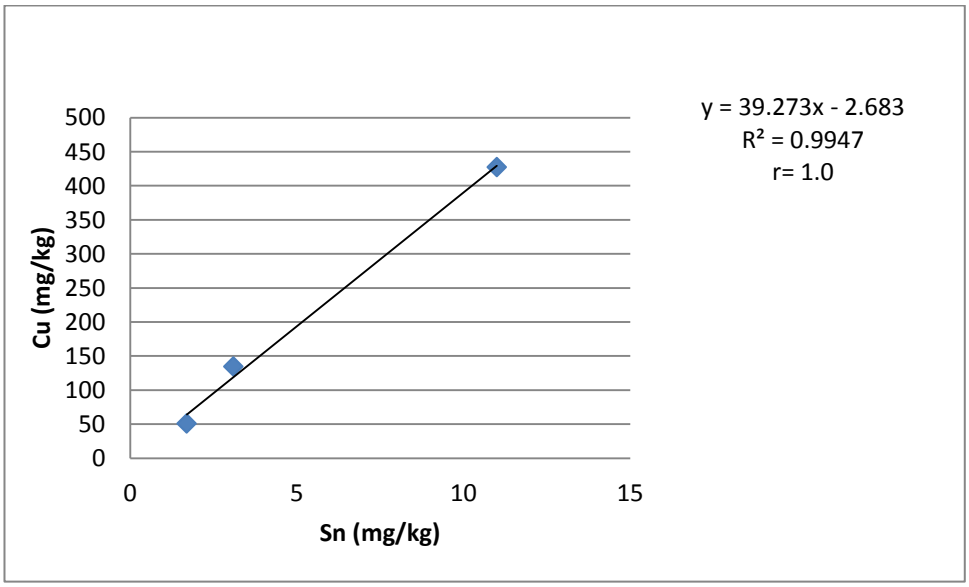


Gráfico N° 91: Correlación de la concentración del Cu y Sn en el suelo.

Anexo N° 93: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

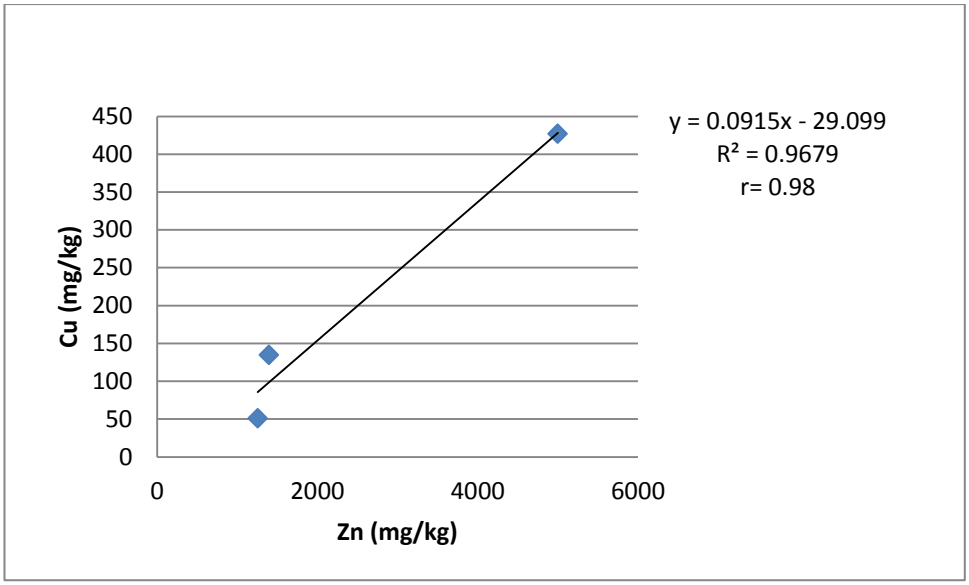


Gráfico N° 92: Correlación de la concentración del Cu y Zn en el suelo.

Anexo N° 94: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

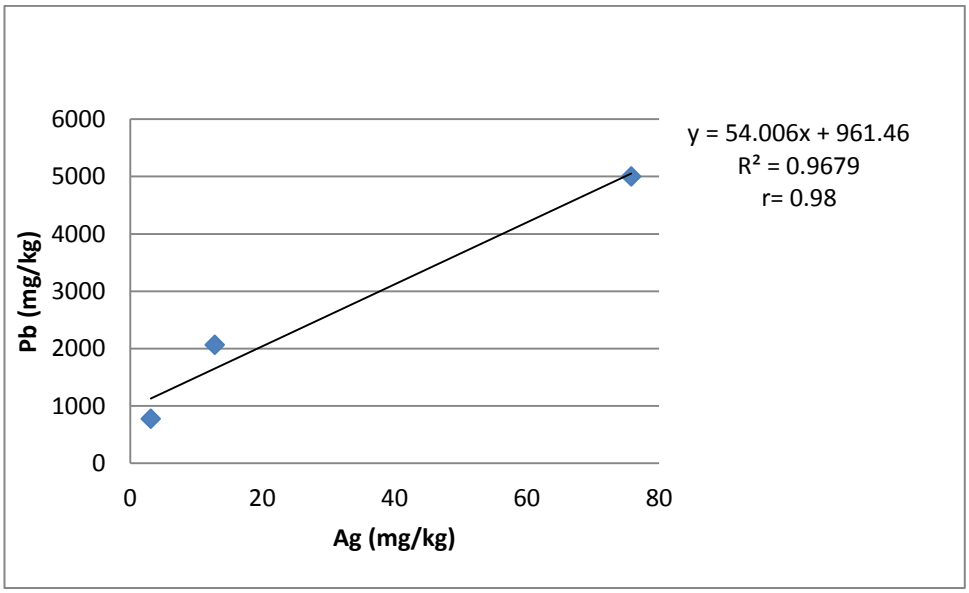


Gráfico N° 93: Correlación de la concentración del Pb y Ag en el suelo.

Anexo N° 95: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

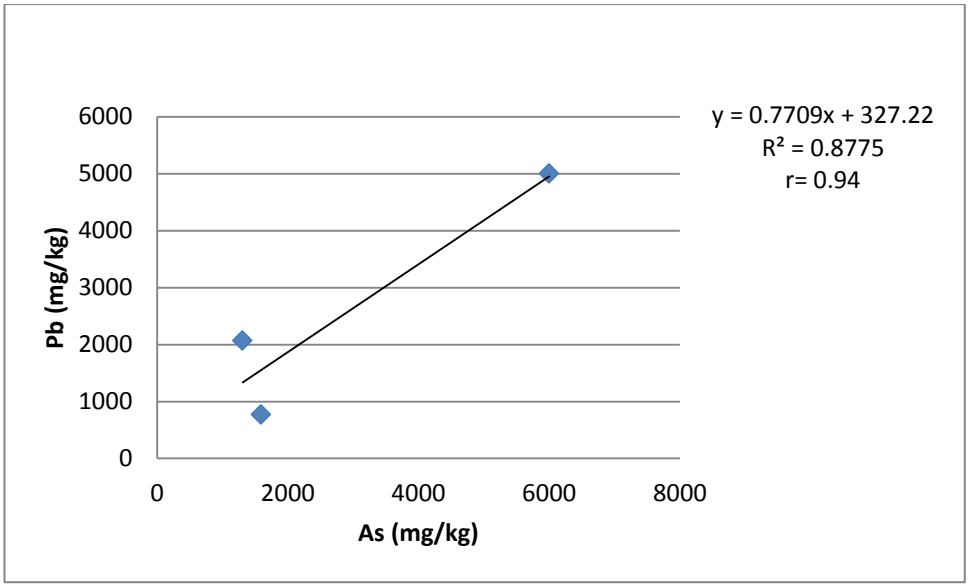


Gráfico N° 94: Correlación de la concentración del Pb y As en el suelo.

Anexo N° 96: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

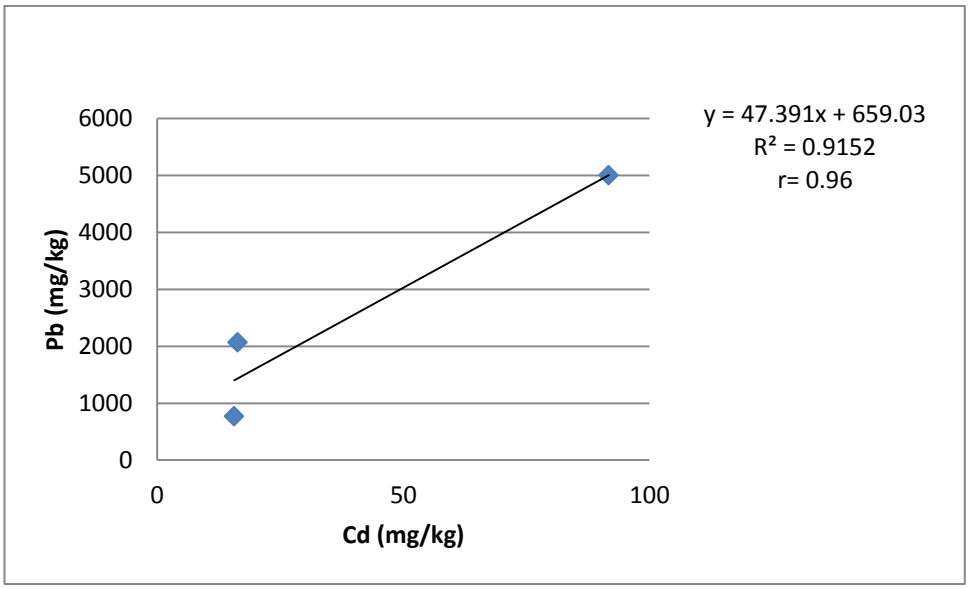


Gráfico N° 95: Correlación de la concentración del Pb y Cd en el suelo.

Anexo N° 97: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

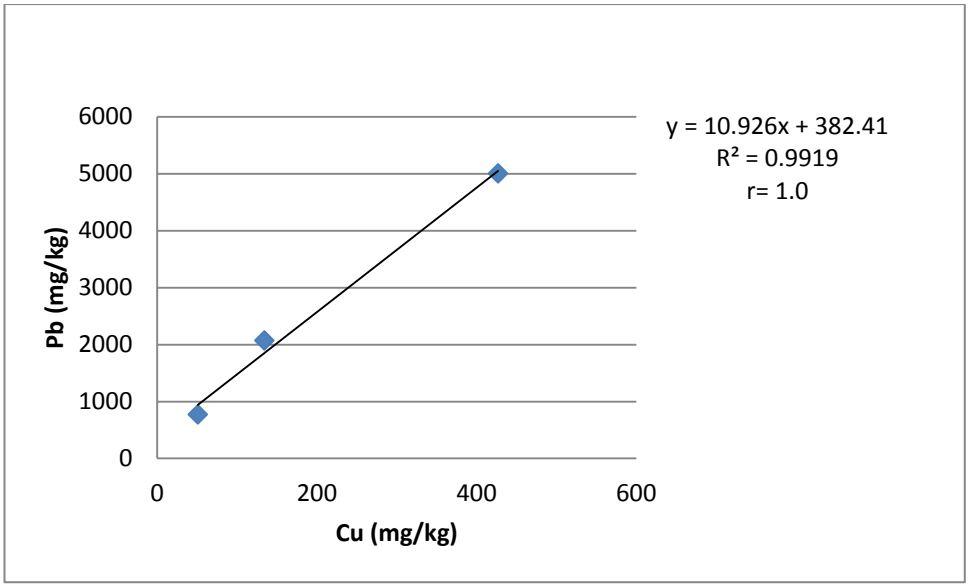


Gráfico N° 96: Correlación de la concentración del Pb y Cu en el suelo.

Anexo N° 98: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

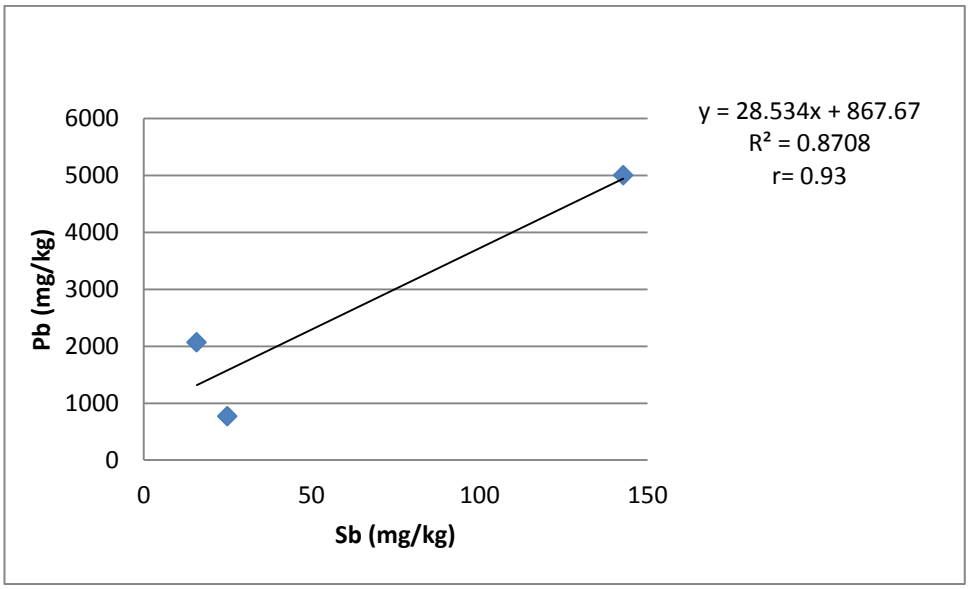


Gráfico N° 97: Correlación de la concentración del Pb y Sb en el suelo.

Anexo N° 99: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

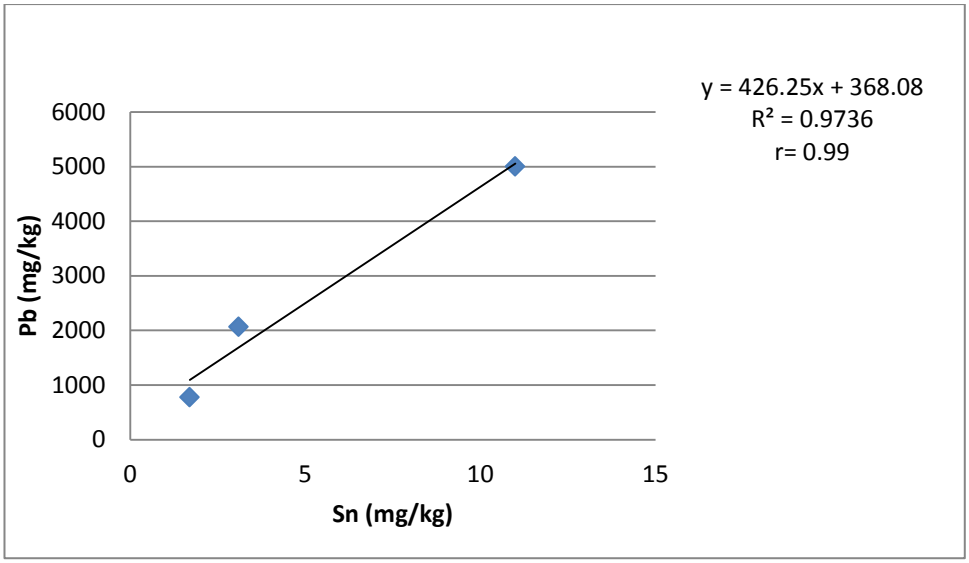


Gráfico N° 98: Correlación de la concentración del Pb y Sn en el suelo.

Anexo N° 100: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

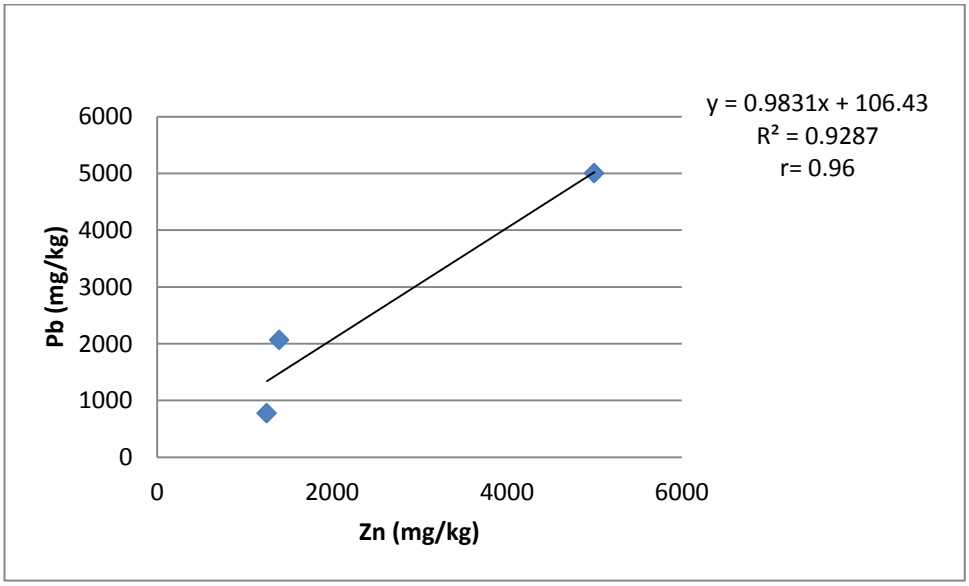


Gráfico N° 99: Correlación de la concentración del Pb y Zn en el suelo.

Anexo N° 101: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

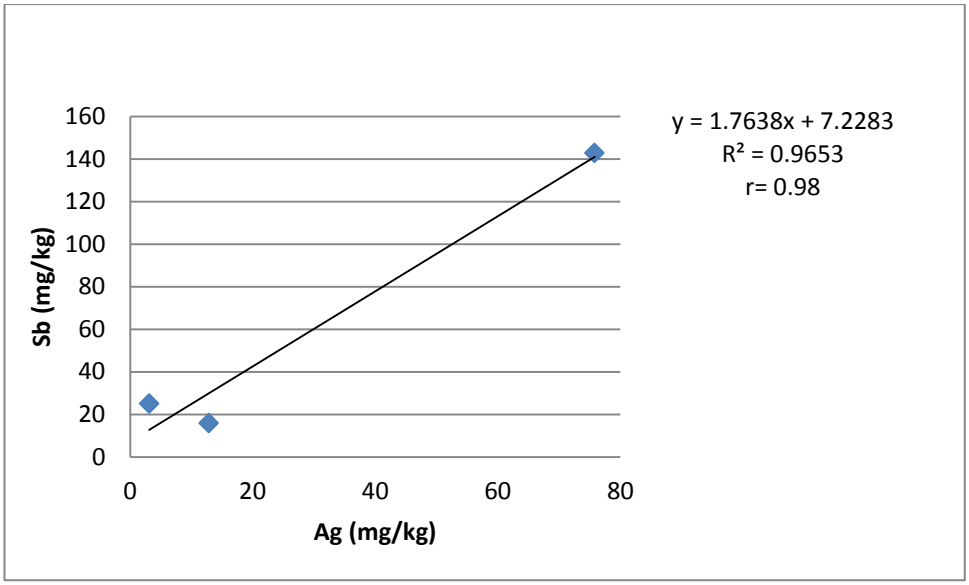


Gráfico N° 100: Correlación de la concentración del Sb y Ag en el suelo.

Anexo N° 102: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

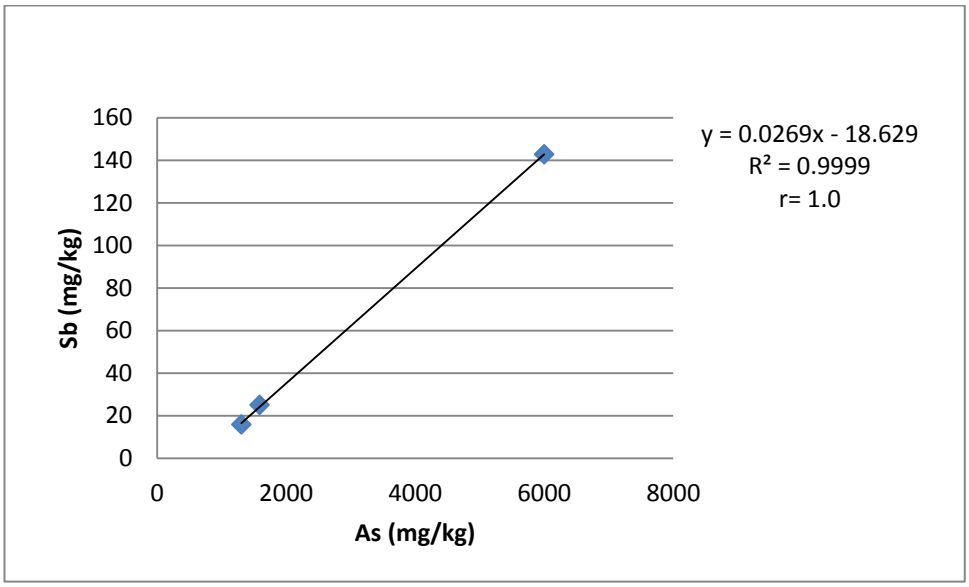


Gráfico N° 101: Correlación de la concentración del Sb y As en el suelo.

Anexo N° 103: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

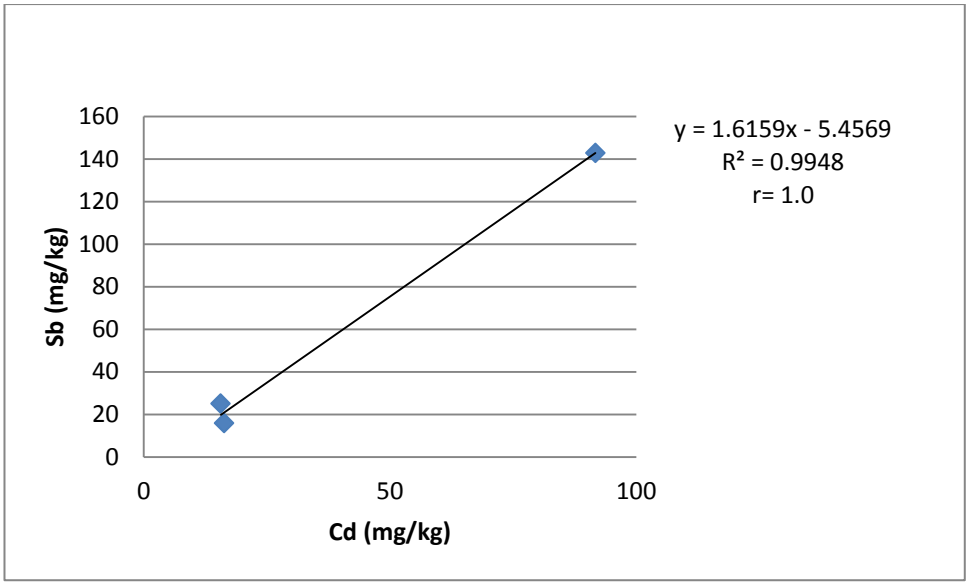


Gráfico N° 102: Correlación de la concentración del Sb y Cd en el suelo.

Anexo N° 104: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

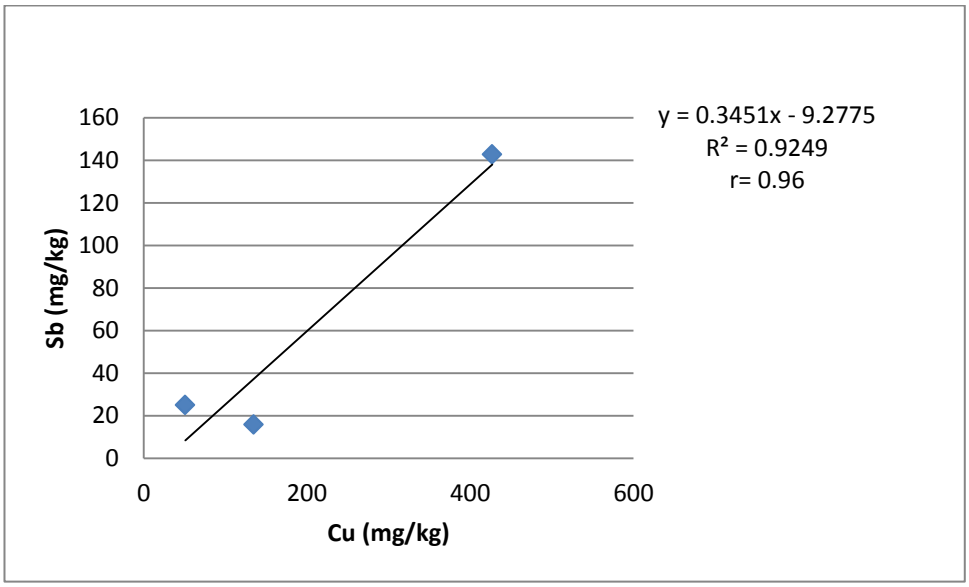


Gráfico N° 103: Correlación de la concentración del Sb y Cu en el suelo.

Anexo N° 105: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

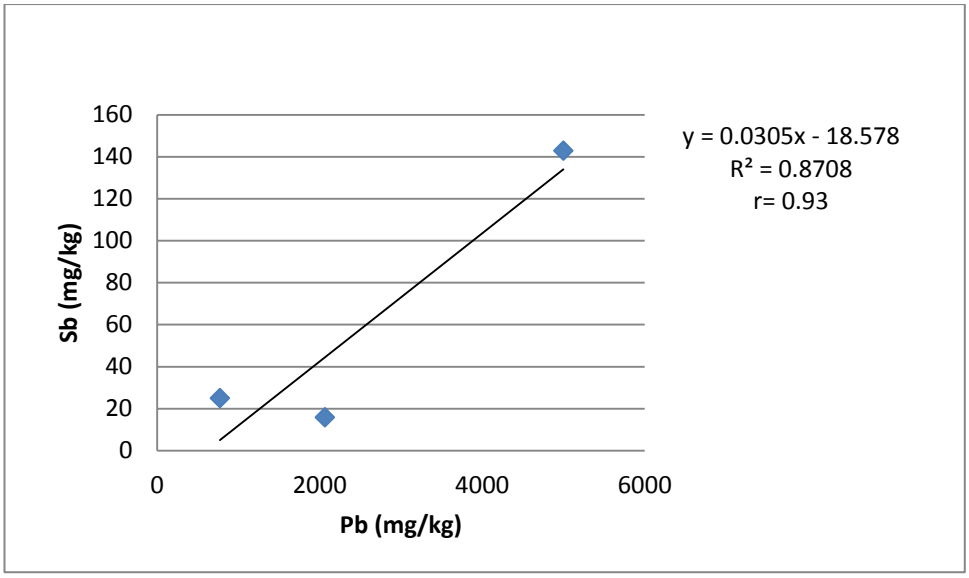


Gráfico N° 104: Correlación de la concentración del Sb y Pb en el suelo.

Anexo N° 106: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

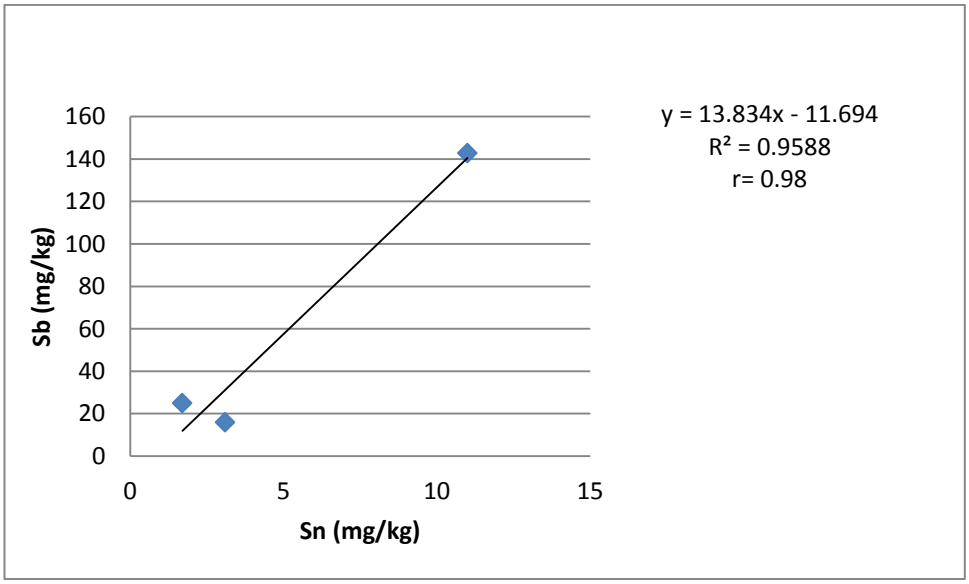


Gráfico N° 105: Correlación de la concentración del Sb y Sn en el suelo.

Anexo N° 107: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

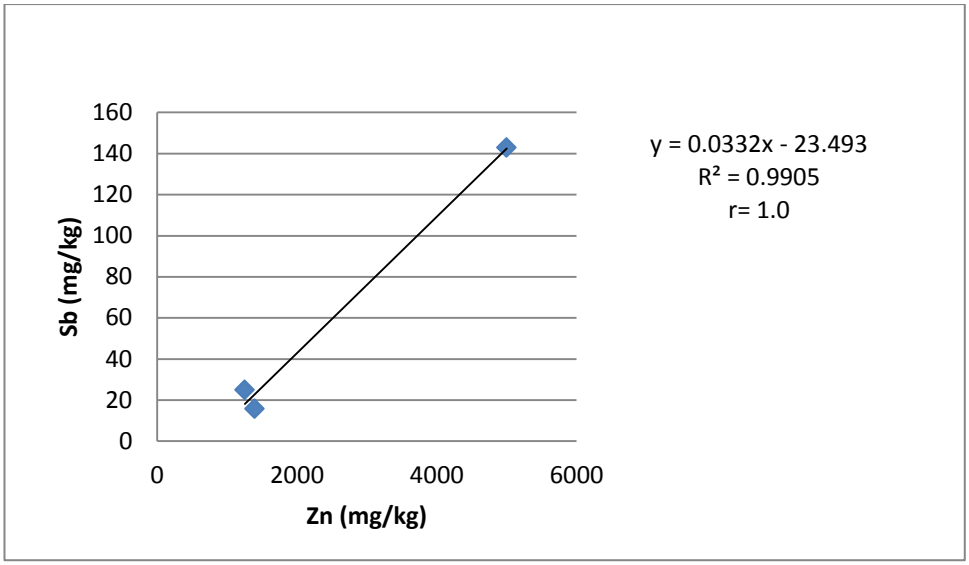


Gráfico N° 106: Correlación de la concentración del Sb y Zn en el suelo.

Anexo N° 108: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

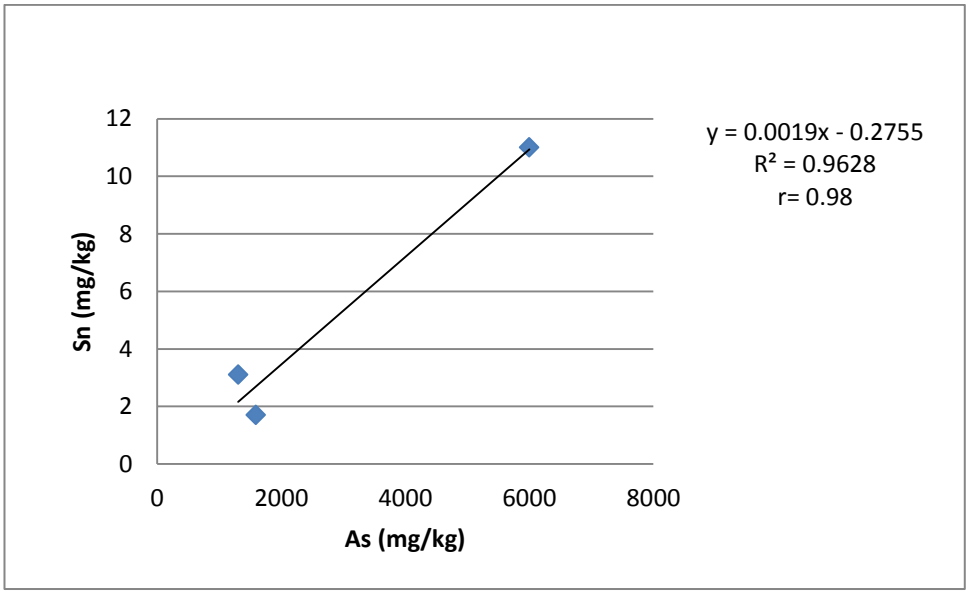


Gráfico N° 107: Correlación de la concentración del Sn y As en el suelo.

Anexo N° 109: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

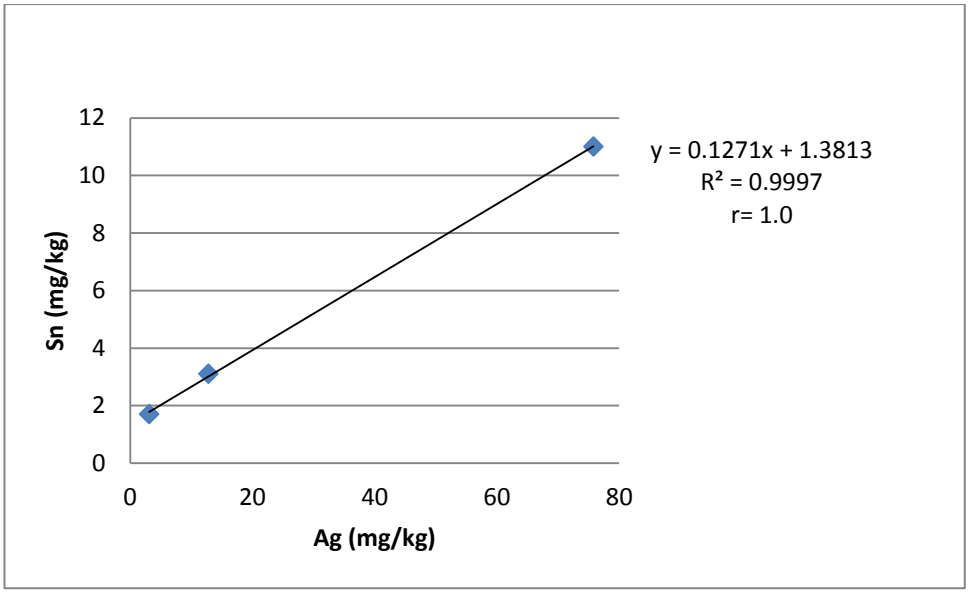


Gráfico N° 108: Correlación de la concentración del Sn y Ag en el suelo.

Anexo N° 110: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

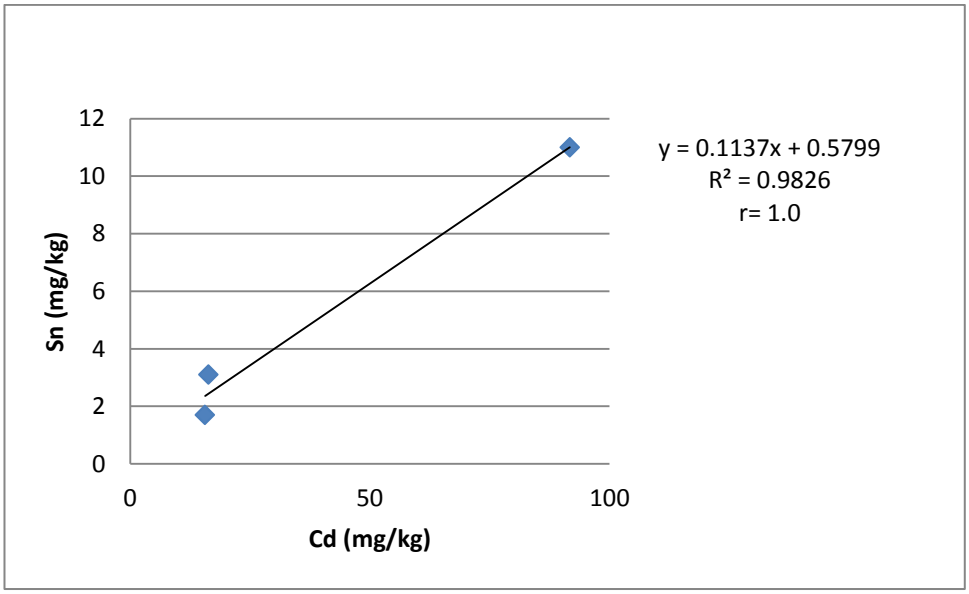


Gráfico N° 109: Correlación de la concentración del Sn y Cd en el suelo.

Anexo N° 111: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

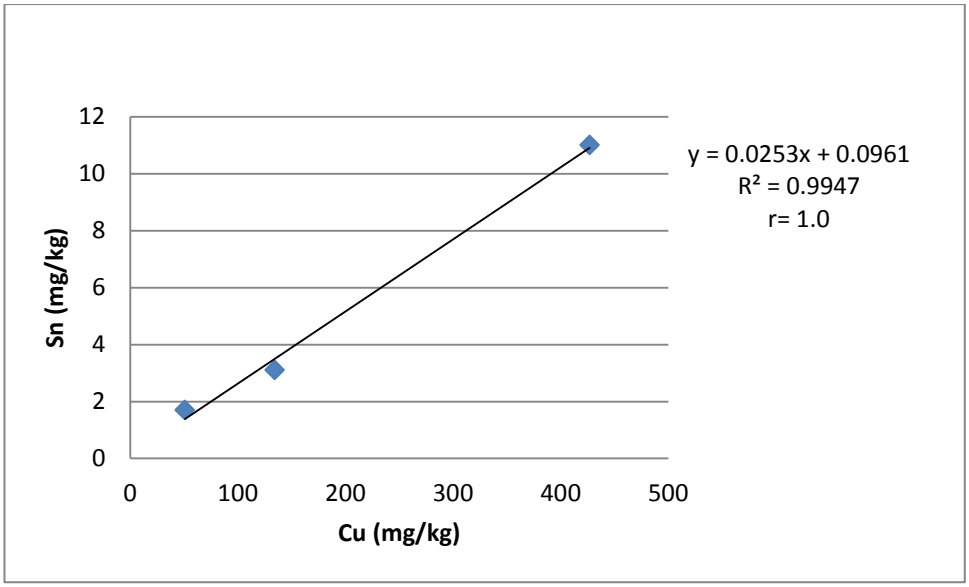


Gráfico N° 110: Correlación de la concentración del Sn y Cu en el suelo.

Anexo N°112: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

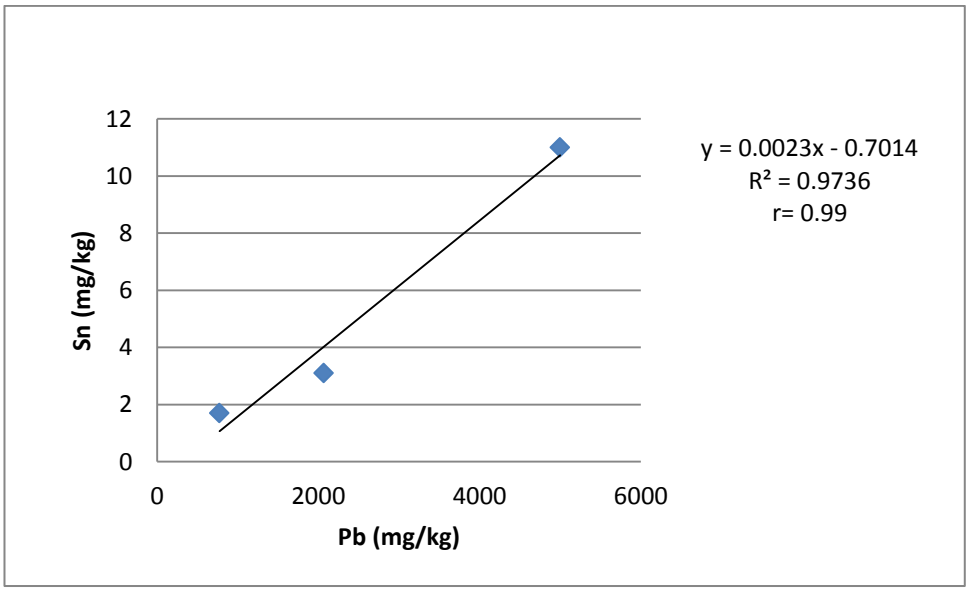


Gráfico N° 111: Correlación de la concentración del Sn y Pb en el suelo.

Anexo N° 113: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

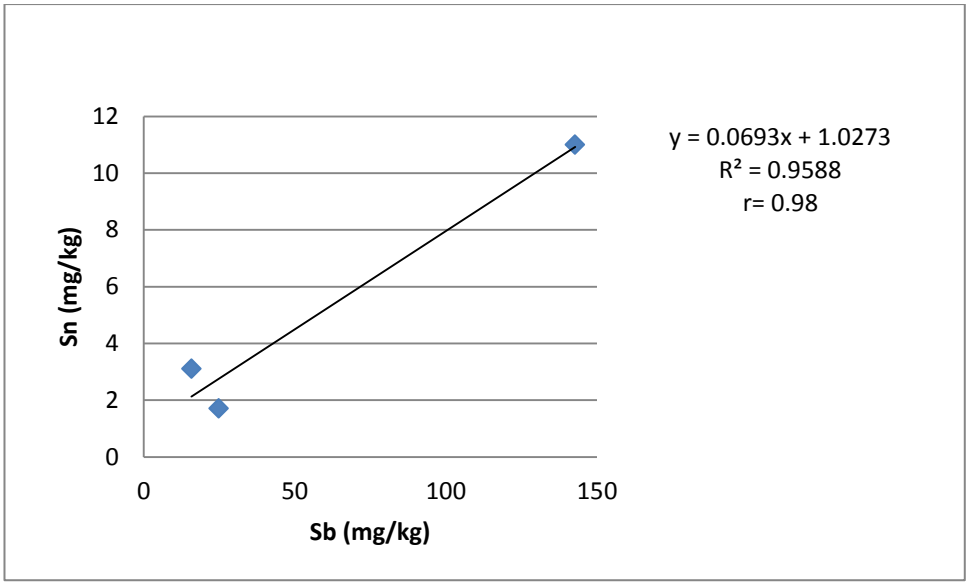


Gráfico N° 112: Correlación de la concentración del Sn y Sb en el suelo.

Anexo N° 114: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

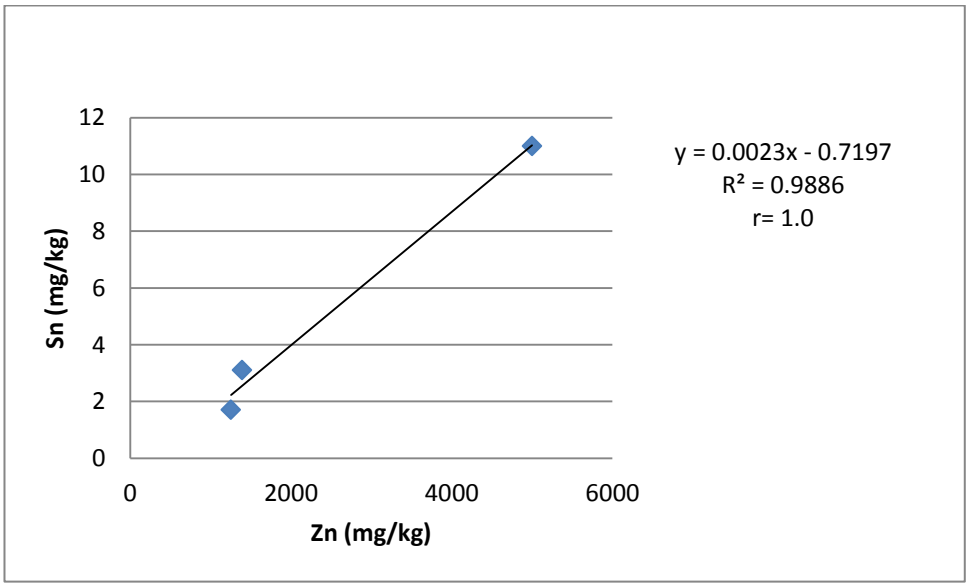


Gráfico N° 113: Correlación de la concentración del Sn y Zn en el suelo.

Anexo N° 115: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

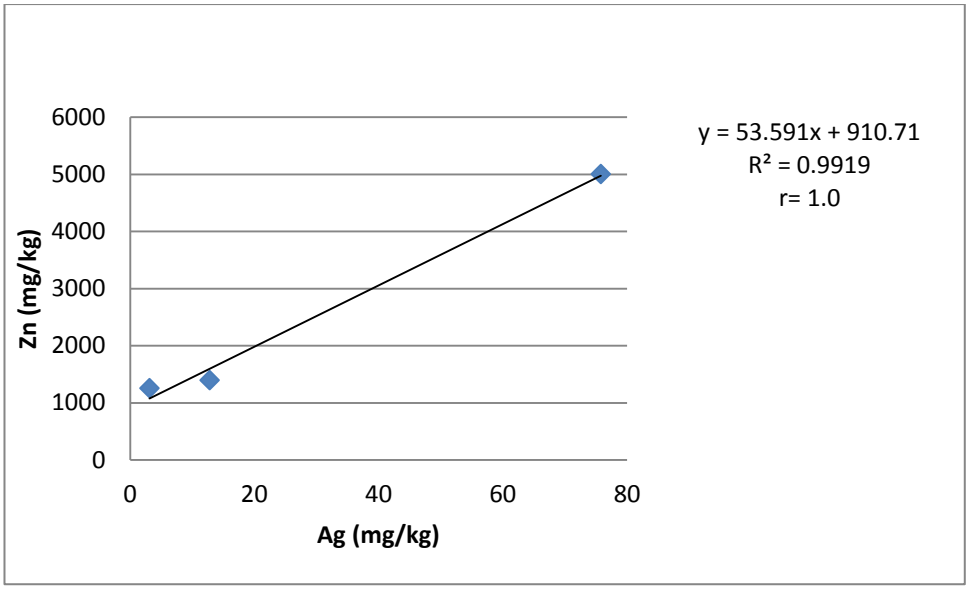


Gráfico N° 114: Correlación de la concentración del Zn y Ag en el suelo.

Anexo N° 116: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

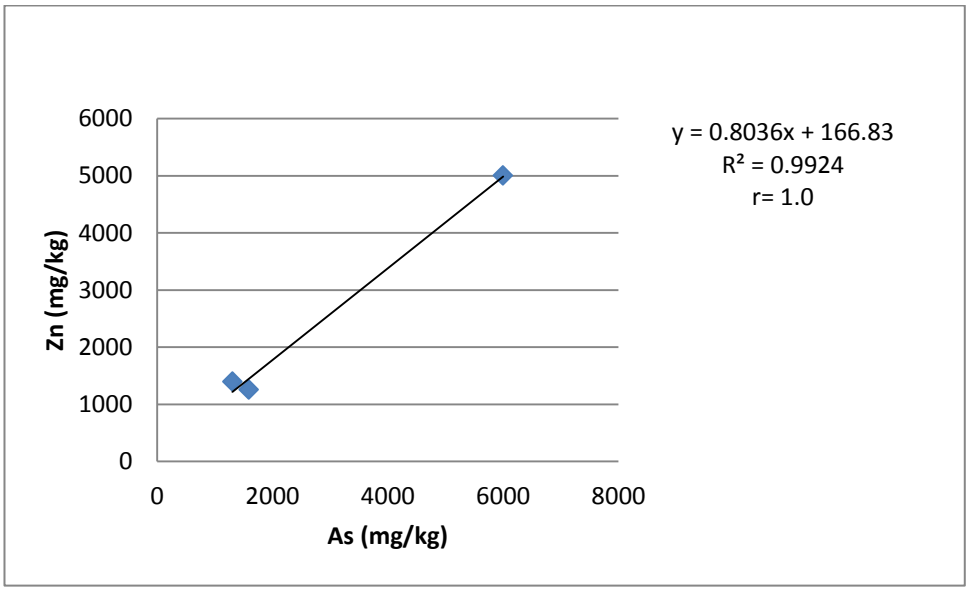


Gráfico N° 115: Correlación de la concentración del Zn y As en el suelo.

Anexo N° 117: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

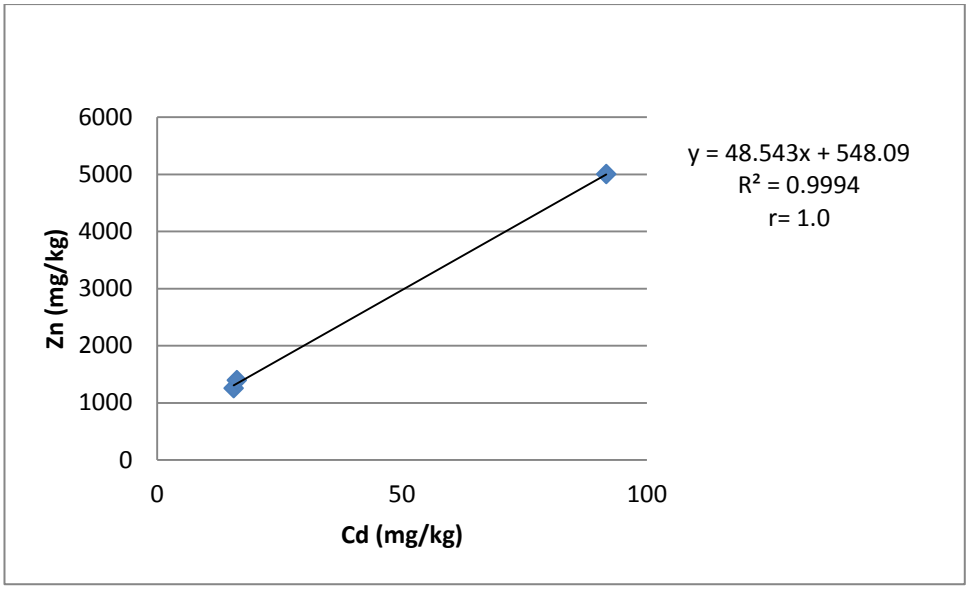


Gráfico N° 116: Correlación de la concentración del Zn y Cd en el suelo.

Anexo N° 118: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

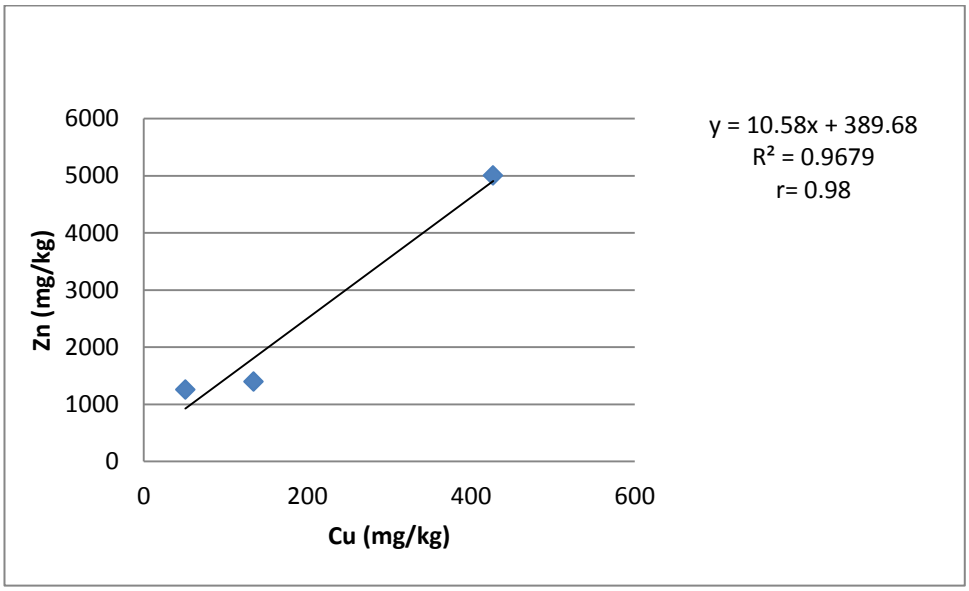


Gráfico N° 117: Correlación de la concentración del Zn y Cu en el suelo.

Anexo N° 119: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

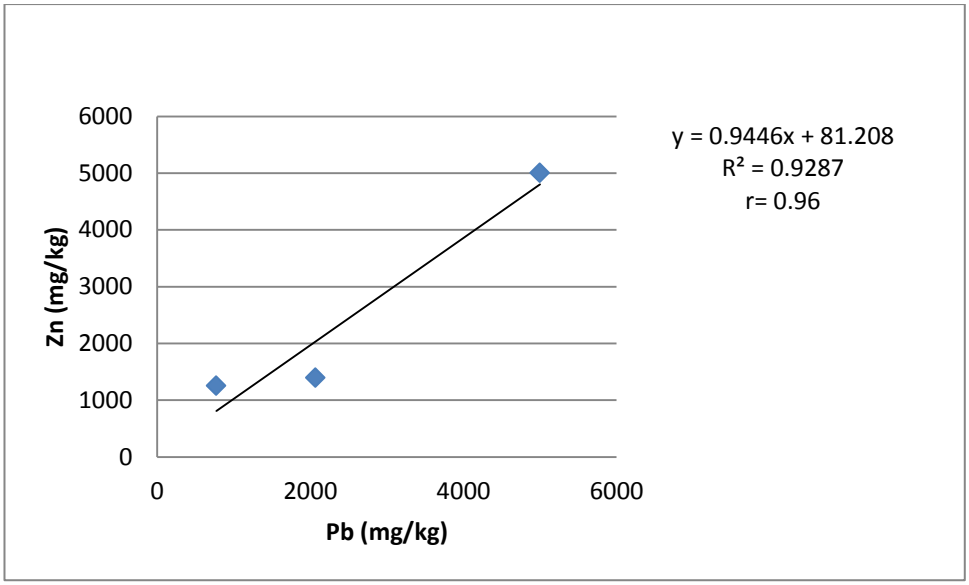


Gráfico N° 118: Correlación de la concentración del Zn y Pb en el suelo.

Anexo N° 120: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

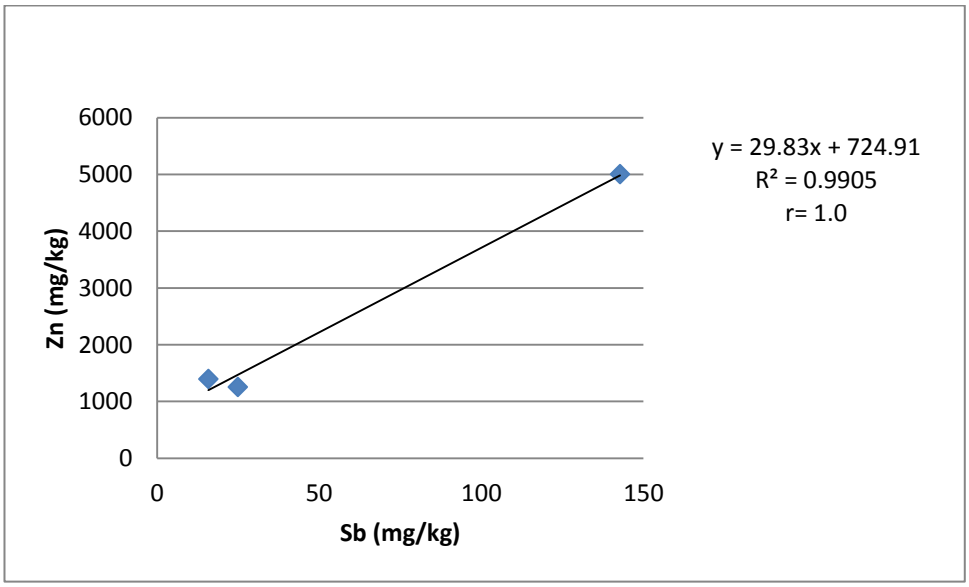


Gráfico N° 119: Correlación de la concentración del Zn y Sb en el suelo.

Anexo N° 121: Correlación de metales pesados en el suelo de *Solanum hispidum*, *Schinus molle* y *Cortaderia rudiuscula*.

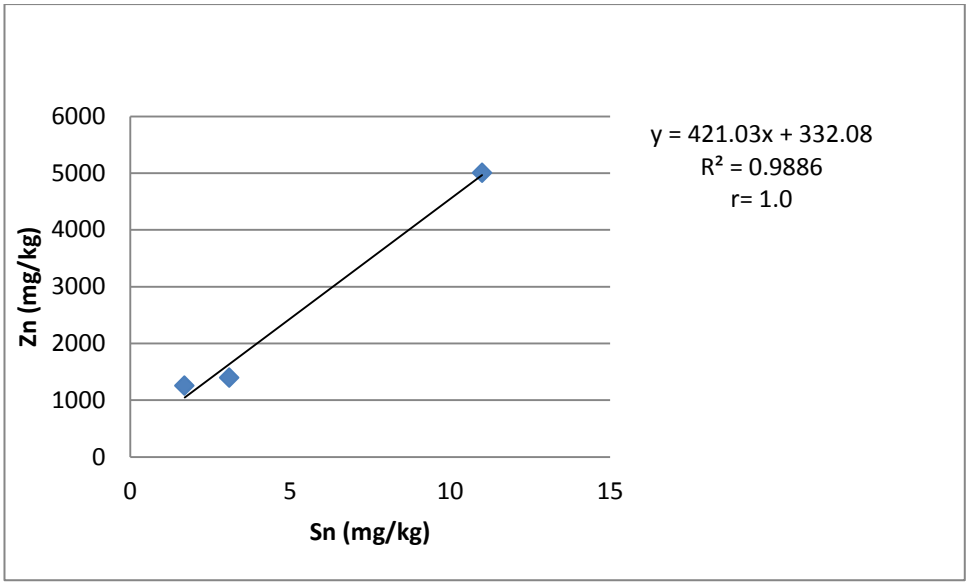


Gráfico N° 120: Correlación de la concentración del Zn y Sn en el suelo.

Anexo N° 122: VISTA SATELITAL DE LA UBICACIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA SANTA ROSA DE JANGAS

PANEL FOTOGRÁFICO

Anexo N° 123: RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA SANTA ROSA DE JANGAS

Anexo N° 124: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE LAS TRES ESPECIES VEGETALES*: Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula*.

Anexo N° 125: MUESTRAS DE LA PARTE AÉREA DE *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 126: MUESTRAS DE LA PARTE RADICULAR DE *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 127: MUESTRAS DE SUELO DONDE SE DESARROLLARON *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.*

Anexo N° 128: MUESTRAS PROCESADAS DE *Solanum hispidum, Schinus molle y Cortaderia rudiuscula.* LISTAS PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS DE METALES PESADOS TOTALES EN LABORATORIO.

INFORME DE ENSAYO Nº 081147-2014
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Planta (parte aérea)	Planta (parte aérea)	Planta (parte radicular)	Planta (parte radicular)
Matriz analizada			Planta (parte aérea)	Planta (parte aérea)	Planta (parte radicular)	Planta (parte radicular)
Fecha de muestreo			2014-01-03	2014-01-03	2014-01-03	2014-01-03
Hora de inicio de muestreo (h)			No indica	No indica	No indica	No indica
Condiciones de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del cliente			Ñawipashta (C)	Ñawipashta (B)	Ñawipashta (B)	Ñawipashta (C)
Código del Laboratorio			14032401	14032402	14032403	14032404
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
***Metales**						
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	7.60	1.69	0.55	0.27
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	1060.5	357.0	746.7	376.8
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	>6000	4462.5	939.3	72.1
Boro (B)	mg/kg	0.3	27.6	46.9	11.9	8.6
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	10.6	15.1	14.6	8.2
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.04	<0.02	0.03	<0.02
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	12596.6	18945.1	13759.7	10968.0
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	19.62	6.33	2.63	2.20
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	21.2	4.6	3.3	1.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	12.50	2.18	1.01	0.25
Cromo (Cr)	mg/kg	0.04	3.69	0.86	0.59	0.28
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	134.90	50.14	14.86	6.10
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	>20000	13069.8	3641.4	803.3
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	12238.2	17934.7	8424.8	7985.4
Litio (Li)	mg/kg	0.3	28.8	62.6	28.6	14.6
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3155.4	3624.5	1140.74	852.4
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	>2000	784.72	196.18	44.64
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	0.747	1.3	0.5	0.3
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	137.5	105.8	315.0	124.7
Níquel (Ni)	mg/kg	0.04	16.01	2.90	0.88	0.20
Fósforo (P)	mg/kg	0.2	1372.2	2671.0	880.9	587.4
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	1674.84	404.24	85.33	31.61
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	590.3	132.3	18.2	1.4
Selenio(Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	0.8	1.0
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	2.8	1.6	1.1	0.5
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	20.9	36.0	37.9	27.7
Titanio (Ti)	mg/kg	0.02	10.16	6.00	14.00	10.46
Talio(Tl)	mg/kg	0.3	2.5	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	3.27	1.26	1.62	0.70
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	1604.3	564.0	187.3	123.9

L.D.M.: Límite de detección del método

Resultados en base seca.

* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA para la matriz reportada.

Quim. Belbeth Fajardo León
C.Q.P. 648
JEFE DE EMISIÓN DE INFORMES
SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Cod: FI 02 / Versión: 04 / F.E: 04/2012

* El metodo indicado no ha sido acreditado por INDECOPI/SNA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW) -APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. - **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency - **ASTM:** American Society for Testing and Materials - **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S. A. C.. Solo es válido pata las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109*1133
Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com

SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.
SAG
EXPERTS WORKING FOR YOU

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL SERVICIO NACIONAL DE ACREDITACIÓN
INDECOPI - SNA
CON REGISTRO N° LE-047

ACREDITADO - LABORATORIO DE ENSAYO
INDECOPI - SNA
PERÚ
Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO Nº 081147-2014
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Suelo	Suelo
Matriz analizada			Suelo	Suelo
Fecha de muestreo			2014-01-03	2014-01-03
Hora de inicio de muestreo (h)			No indica	No indica
Condiciones de la muestra			Conservada	Conservada
Código del cliente			Ñawipashta (B)	Ñawipashta (C)
Código del Laboratorio			14032405	14032406
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	6.1927
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	6100.5	5725.8
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	65.1	3114.5
Boro (B)	mg/kg	0.3	3.9	3.8
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	59.6	57.8
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.53	0.45
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	15033.9	26260.4
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	7.02	24.26
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	43.4	35.3
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	7.72	9.08
Cromo (Cr)	mg/kg	0.04	3.05	4.06
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	18.95	82.95
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	>20000	>20000
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	682.0	725.6
Litio (Li)	mg/kg	0.3	13.1	11.9
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3512.7	3433.0
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.04	1158.52	1874.87
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	1.2	1.7
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	60.0	55.5
Níquel (Ni)	mg/kg	0.04	4.63	5.53
Fósforo (P)	mg/kg	0.2	1134.6	894.9
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	296.13	1248.41
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	4.7	45.1
Selenio(Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.7	2.7
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	37.0	43.7
Titanio (Ti)	mg/kg	0.02	15.89	24.11
Talio(Tl)	mg/kg	0.3	0.449	0.977
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	18.87	17.62
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	435.4	2073.4

L.D.M.: Límite de detección del método
Resultados en base seca.

Quím. Belbeth Fajardo León
C.Q.P 648
JEFE DE EMISIÓN DE INFORMES
SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Lima, 07 de Abril del 2014

Cod: FI 02 / Versión: 04 / F.E: 04/2012

* El metodo indicado no ha sido acreditado por INDECOPI/SNA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW).-APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. - **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency - **ASTM:** American Society for Testing and Materials - **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S. A. C.. Solo es válido pata las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Rios Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109*1133
Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com

Anexo N° 129: RESULTADOS DE LABORATORIO *Solanum hispidum*

RESULTADOS DE LABORATORIO				
Solanum hispidum				
Metales (mg/kg)	**unidades**	**Aérea**	**Raíz**	**Suelo**
Plata (Ag)	mg/Kg	4.645	0.41	3.12135
Aluminio (Al)	mg/Kg	708.75	561.75	5913.15
Arsènico (As)	mg/Kg	5231.25	505.7	1589.8
Boro (B)	mg/Kg	37.25	10.25	3.85
Bario (Ba)	mg/Kg	12.85	11.4	58.7
Berilio (Be)	mg/Kg	0.03	0.025	0.49
Calcio (Ca)	mg/Kg	15770.85	12363.85	20647.15
Cadmio (Cd)	mg/Kg	12.975	2.415	15.64
Cerio (Ce)	mg/Kg	12.9	2.25	39.35
Cobalto (Co)	mg/Kg	7.34	0.63	8.4
Cromo (Cr)	mg/Kg	2.275	0.435	3.555
Cobre (Cu)	mg/Kg	92.52	10.48	50.95
Hierro (Fe)	mg/Kg	16534.9	2222.35	20000
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.06	0.06	0.06
Potasio (K)	mg/Kg	15086.45	8205.1	703.8
Litio (Li)	mg/Kg	45.7	21.6	12.5
Magnesio (Mg)	mg/Kg	3389.95	996.57	3472.85
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1392.36	120.41	1516.695
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	1.0235	0.4	1.45
Sodio (Na)	mg/Kg	121.65	219.85	57.75
Niquel (Ni)	mg/Kg	9.455	0.54	5.08
Fòsforo (P)	mg/Kg	2021.6	734.15	1014.75
Plomo (Pb)	mg/Kg	1039.54	58.47	772.27
Antimonio (Sb)	mg/Kg	361.3	9.8	24.9
Selenio (Se)	mg/Kg	0.3	0.9	0.3
Estaño (Sn)	mg/Kg	2.2	0.8	1.7
Estroncio (Sr)	mg/Kg	28.45	32.8	40.35
Titanio (Ti)	mg/Kg	8.08	12.23	20
Talio (Tl)	mg/Kg	1.4	0.3	0.713
Vanadio (V)	mg/Kg	2.265	1.16	18.245
Zinc (Zn)	mg/Kg	1084.15	155.6	1254.4

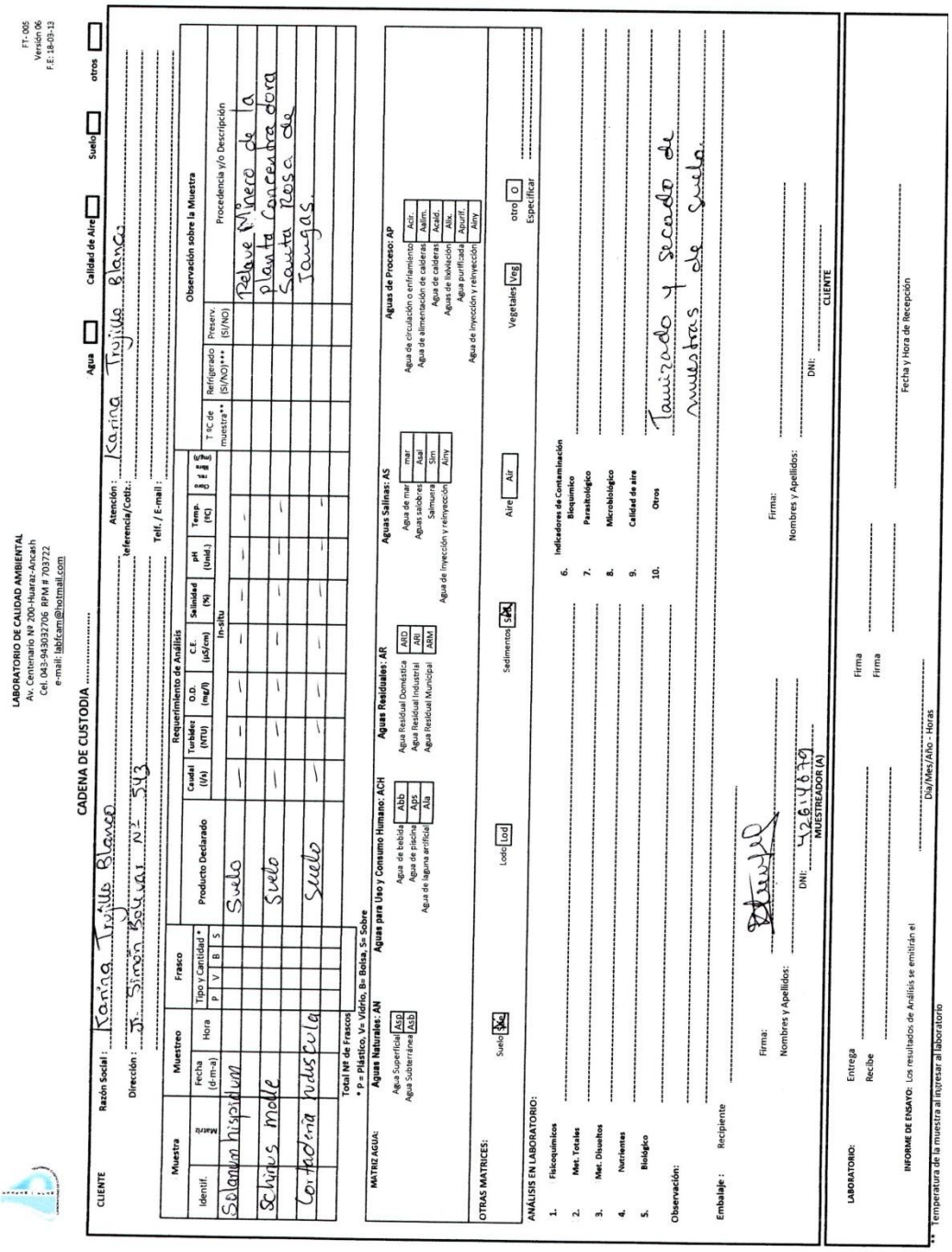
Anexo N° 130: RESULTADOS DE LABORATORIO *Schinus molle*

RESULTADOS DE LABORATORIO				
Schinus molle				
Metales	**unidades**	**Aérea**	**Raíz**	**Suelo**
Plata (Ag)	mg/Kg	0.74	3.18	12.82
Aluminio (Al)	mg/Kg	75.3	882.1	5410
Arsènico (As)	mg/Kg	12.3	303.8	1305.1
Boro (B)	mg/Kg	58.9	8.6	0.3
Bario (Ba)	mg/Kg	3.3	12.5	65.4
Berilio (Be)	mg/Kg	0.02	0.02	0.3
Calcio (Ca)	mg/Kg	20595.7	28053.4	25314.8
Cadmio (Cd)	mg/Kg	1.54	4.43	16.33
Cerio (Ce)	mg/Kg	0.4	4.6	33.4
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.06	0.94	6.61
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.4	4.27	6.77
Cobre (Cu)	mg/Kg	23.22	94.41	134.25
Hierro (Fe)	mg/Kg	254.4	5631.7	20000
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.06	0.06	0.06
Potasio (K)	mg/Kg	12894.4	12423.3	933
Litio (Li)	mg/Kg	9.5	2.8	12.3
Magnesio (Mg)	mg/Kg	6136.9	2975.4	3135.1
Manganeso (Mn)	mg/Kg	206.86	174.43	1093.67
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.2	1.3	1.7
Sodio (Na)	mg/Kg	120.1	464.4	79.4
Niquel (Ni)	mg/Kg	0.7	0.54	3.42
Fòsforo (P)	mg/Kg	1646.6	1484.4	992.7
Plomo (Pb)	mg/Kg	13.34	452.97	2066.61
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.2	5.5	15.8
Selenio (Se)	mg/Kg	0.3	0.3	0.3
Estaño (Sn)	mg/Kg	0.5	1.1	3.1
Estroncio (Sr)	mg/Kg	63.8	79.1	50.8
Titanio (Ti)	mg/Kg	1	8.17	14.85
Talio (Tl)	mg/Kg	0.3	0.3	0.6
Vanadio (V)	mg/Kg	0.08	2.1	16.13
Zinc (Zn)	mg/Kg	240.3	459.7	1394.6

Anexo N° 131: RESULTADOS DE LABORATORIO *Cortaderia rudiuscula*

RESULTADOS DE LABORATORIO				
Cortaderia rudiuscula				
Metales	**unidades**	**Aérea**	**Raíz**	**Suelo**
Plata (Ag)	mg/Kg	1.05	47.18	75.8
Aluminio (Al)	mg/Kg	86.4	1790.4	5737
Arsènico (As)	mg/Kg	21.7	2228	6000
Boro (B)	mg/Kg	6.4	0.3	0.3
Bario (Ba)	mg/Kg	2.2	25.1	56.2
Berilio (Be)	mg/Kg	0.02	0.05	0.26
Calcio (Ca)	mg/Kg	2564.4	4439.8	20785.4
Cadmio (Cd)	mg/Kg	6.63	50.07	91.72
Cerio (Ce)	mg/Kg	0.6	13.9	32.4
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.17	6.76	10.97
Cromo (Cr)	mg/Kg	1.41	11.79	8.66
Cobre (Cu)	mg/Kg	14.05	200.51	426.99
Hierro (Fe)	mg/Kg	393	17912.4	20000
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0.06	0.07	8.92
Potasio (K)	mg/Kg	8655.3	4372.6	1790
Litio (Li)	mg/Kg	0.4	3.1	10.7
Magnesio (Mg)	mg/Kg	730.7	684	1846.8
Manganeso (Mn)	mg/Kg	210.58	1550.16	2000
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	1.3	1.8	4.3
Sodio (Na)	mg/Kg	102.3	223.5	423.5
Niquel (Ni)	mg/Kg	0.56	2.48	5.46
Fòsforo (P)	mg/Kg	362.6	409.9	640.5
Plomo (Pb)	mg/Kg	168.88	3725.11	5000
Antimonio (Sb)	mg/Kg	2.6	113.1	142.8
Selenio (Se)	mg/Kg	0.3	0.3	0.3
Estaño (Sn)	mg/Kg	0.5	5.8	11
Estroncio (Sr)	mg/Kg	6.9	19.1	53.1
Titanio (Ti)	mg/Kg	1.09	29.74	46.6
Talio (Tl)	mg/Kg	0.3	0.8	1.6
Vanadio (V)	mg/Kg	0.09	4.44	13.46
Zinc (Zn)	mg/Kg	533.7	3292	5000

Anexo N° 132: CADENA DE CUSTODIA DE SUELOS



LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario Nº 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labfcam@hotmail.com

FT- 005
Versión 06
F.E.: 18-03-13

CADENA DE CUSTODIA .....

Agua ☐ Calidad de Aire ☐ Suelo ☐ otros ☐

CLIENTE

Razón Social : Karina Trujillo Blanco

Atención : Karina Trujillo Blanco

Dirección : Jr. Simón Bolivar N° 543

Referencia/Cotiz.:

Telf. / E-mail :

Muestra		Muestreo		Frasco				Requerimiento de Análisis									Observación sobre la Muestra		
Identif.	Matriz	Fecha (d-m-a)	Hora	Tipo y Cantidad * P	V	B	S	Producto Declarado	Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (ºC)	T-ºC de muestra**	Refrigerado (SI/NO)***	Preserv. (SI/NO)	Procedencia y/o Descripción
									In-situ										
Solanum hispidum								Suelo	—	—	—	—	—	—	—				Relave Minero de la planta Concentradora Santa Rosa de Tangas.
Schinus molle								Suelo	—	—	—	—	—	—	—				
Cortaderia nudiscula								Suelo	—	—	—	—	—	—	—				

Total Nº de Frascos

* P = Plástico, V= Vidrio, B= Bolsa, S= Sobre

MATRIZ AGUA:

Aguas Naturales: AN — Agua Superficial [Asp]; Agua Subterránea [Asb]

Aguas para Uso y Consumo Humano: ACH — Agua de bebida [Abb]; Agua de piscina [Aps]; Agua de laguna artificial [Ala]

Aguas Residuales: AR — Agua Residual Doméstica [ARD]; Agua Residual Industrial [ARI]; Agua Residual Municipal [ARM]

Aguas Salinas: AS — Agua de mar [mar]; Aguas salobres [Asal]; Salmuera [Slm]; Agua de inyección y reinyección [Ainy]

Aguas de Proceso: AP — Agua de circulación o enfriamiento [Acir]; Agua de alimentación de calderas [Aalim]; Agua de calderas [Acald]; Aguas de lixiviación [Alix]; Agua purificada [Apurif]; Agua de inyección y reinyección [Ainy]

OTRAS MATRICES:

Suelo [Sc]; Lodo [Lod]; Sedimentos [Sed]; Aire [Air]; Vegetales [Veg]; otro [O] Especificar .....

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Fisicoquímicos
2. Met. Totales
3. Met. Disueltos
4. Nutrientes
5. Biológico
6. Indicadores de Contaminación — Bioquímico
7. Parasitológico
8. Microbiológico
9. Calidad de aire
10. Otros — Tamizado y secado de muestras de suelo.

Observación:

Embalaje : Recipiente .....

Firma: .....
Nombres y Apellidos: .....
DNI: 42614679
MUESTREADOR (A)

Firma: .....
Nombres y Apellidos: .....
DNI: .....
CLIENTE

LABORATORIO:

Entrega .....
Recibe .....

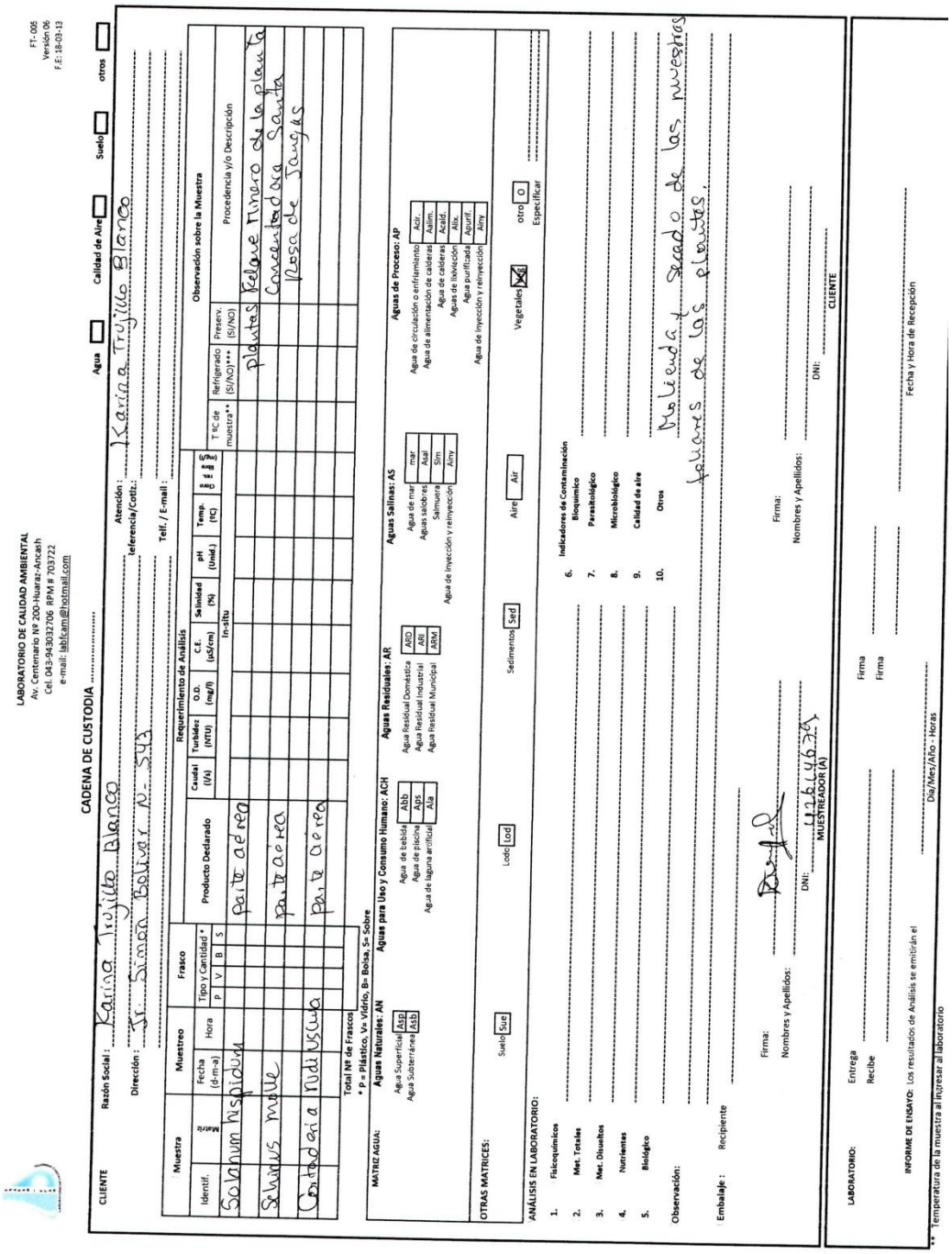
Firma .....
Firma .....

Fecha y Hora de Recepción .....

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el ..... Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Anexo N° 133: CADENA DE CUSTODIA DE LAS TRES ESPECIES VEGETALES- PARTE AÉREA



LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario Nº 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labfcam@hotmail.com

FT-006
Versión 06
F.E: 18-03-13

CADENA DE CUSTODIA .....

Agua ☐ Calidad de Aire ☐ Suelo ☐ otros ☐

CLIENTE

Razón Social : Karina Trujillo Blanco

Atención : Karina Trujillo Blanco

Dirección : Jr. Simón Bolívar N- 543

Referencia/Cotiz.: .....

Telf. / E-mail : .....

Muestra		Muestreo		Frasco				Requerimiento de Análisis									Observación sobre la Muestra		
Identif.	Matriz	Fecha (d-m-a)	Hora	Tipo y Cantidad * P	V	B	S	Producto Declarado	Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (ºC)	Cloro Res. (S/N)	T ºC de muestra**	Refrigeración (SI/NO)***	Preserv. (SI/NO)	Procedencia y/o Descripción
Solanum tuberosum								parte aérea					In-situ							plantas Relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Sangas
Salvia nemorosa								parte aérea												
Centaurea nudicaulis								parte aérea												

Total Nº de Frascos

* P = Plástico, Vv- Vidrio, Bo- Bolsa, Se- Sobre

MATRIZ AGUA:

Aguas Naturales: AN
Agua Superficial Asp
Agua Subterránea Asb

Aguas para Uso y Consumo Humano: ACH
Agua de bebida Abb
Agua de piscina Aps
Agua de laguna artificial Ala

Aguas Residuales: AR
Agua Residual Doméstica ARD
Agua Residual Industrial ARI
Agua Residual Municipal ARM

Aguas Salinas: AS
Agua de mar mar
Aguas salobres Asal
Salmuera Sim
Agua de inyección y reinyección Ainy

Aguas de Proceso: AP
Agua de circulación o enfriamiento Acir
Agua de alimentación de calderas Aalim
Agua de calderas Acald
Aguas de lixiviación Alix
Agua purificada Apurif
Agua de inyección y reinyección Ainy

OTRAS MATRICES:

Suelo Sue
Lodo Lod
Sedimentos Sed
Aire Air
Vegetales X
otro O
Especificar .....

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Fisicoquímicos .....
2. Met. Totales .....
3. Met. Disueltos .....
4. Nutrientes .....
5. Biológico .....
6. Indicadores de Contaminación
   Bioquímico .....
7. Parasitológico .....
8. Microbiológico .....
9. Calidad de aire .....
10. Otros molienda y secado de las muestras foliares de las plantas.

Observación: .....

Embalaje : Recipiente .....

Firma: .....
Nombres y Apellidos: .....

Firma: .....
Nombres y Apellidos: .....
DNI: 42614676
MUESTREADOR (A)

LABORATORIO:
Entrega .....
Recibe .....

Firma .....
Firma .....

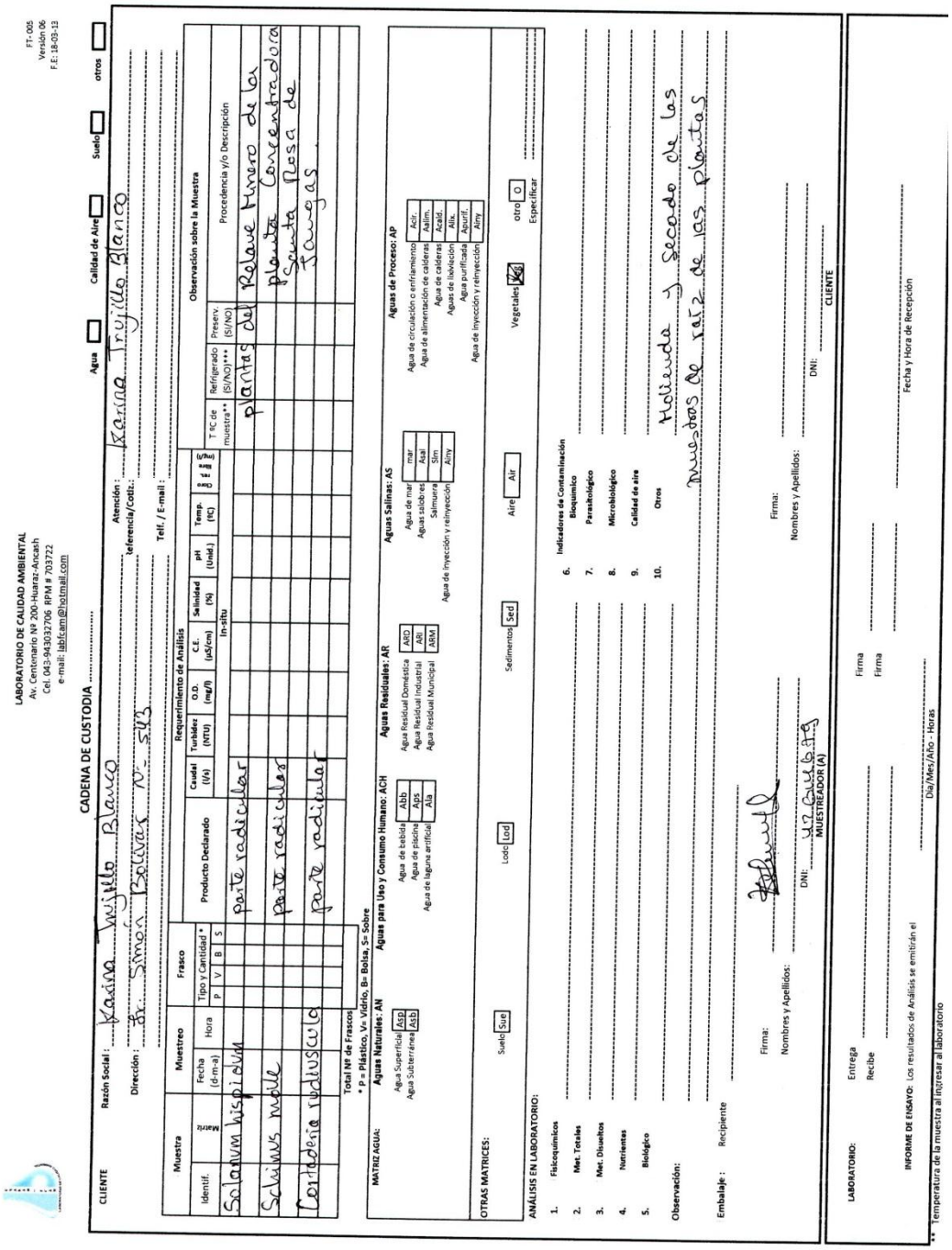
CLIENTE

Fecha y Hora de Recepción .....

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el ..... Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Anexo N° 134: CADENA DE CUSTODIA DE LAS TRES ESPECIES VEGETALES- PARTE RADICULAR



LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario Nº 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labfcam@hotmail.com

FT: 005
Versión 06
F.E.: 18-03-13

CADENA DE CUSTODIA .....

Agua ☐ Calidad de Aire ☐ Suelo ☐ otros ☐

CLIENTE Razón Social : Karina Trujillo Blanco
Atención : Karina Trujillo Blanco
Dirección : Jr. Simón Bolívar N° 523
Referencia/Cotiz.:
Telf. / E-mail :

Muestra Identif.	Matriz	Muestreo Fecha (d-m-a)	Hora	Frasco Tipo y Cantidad * P	V	B	S	Requerimiento de Análisis Producto Declarado	Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (ºC)	T ºC de muestra**	Refrigerado (SI/NO)**	Preserv. (SI/NO)	Observación sobre la Muestra Procedencia y/o Descripción
Solanum hispidum								parte radicular											plantas del Relave Minero de la planta Concentradora Santa Rosa de Tamaya
Schinus molle								parte radicular											
Tecomadoxia radiuscula								parte radicular											

Total Nº de Frascos

* P = Plástico, Vv Vidrio, Bs Bolsa, S= Sobre

MATRIZ AGUA:

Aguas Naturales: AN — Agua Superficial Asp; Agua Subterránea Asb

Aguas para Uso y Consumo Humano: ACH — Agua de bebida Abb; Agua de piscina Aps; Agua de laguna artificial Ala

Aguas Residuales: AR — Agua Residual Doméstica ARD; Agua Residual Industrial ARI; Agua Residual Municipal ARM

Aguas Salinas: AS — Agua de mar mar; Aguas salobres Asal; Salmuera Slm; Agua de inyección y reinyección Almy

Aguas de Proceso: AP — Agua de circulación o enfriamiento Acir.; Agua de alimentación de calderas Kalim.; Agua de calderas Acald.; Aguas de lixiviación Alix.; Agua purificada Apurif.; Agua de inyección y reinyección Almy

OTRAS MATRICES: Suelo Sue; Lodo Lod; Sedimentos Sed; Aire Air; Vegetales Veg; otro O Especificar

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Fisicoquímicos
2. Met. Totales
3. Met. Disueltos
4. Nutrientes
5. Biológico
6. Indicadores de Contaminación
7. Bioquímico
8. Parasitológico
9. Microbiológico
10. Calidad de aire
11. Otros

Observación: Molienda y secado de las muestras de raíz de las plantas

Embalaje : Recipiente

Firma: Nombres y Apellidos: DNI: MUESTREADOR (A)

Firma: Nombres y Apellidos: DNI: CLIENTE

LABORATORIO: Entrega Firma; Recibe Firma

Fecha y Hora de Recepción

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el ..... Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio