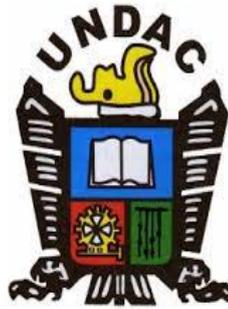


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Fitorremediación con Ricinus Communis para el tratamiento de suelos
contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco, 2019**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Araceli Jhekaterine QUISPE CARHUARICRA

Asesor: Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco – Perú – 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Fitorremediación con Ricinus Communis para el tratamiento de suelos
contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco, 2019**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN

PRESIDENTE

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN

MIEMBRO

Mg. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS

MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente estudio de investigación está dedicado a mis padres, mis padrinos, mi abuelita y familia; pilares fundamentales en mi vida.

RECONOCIMIENTO

- A Dios por estar en mi camino siempre como guía y ejemplo a seguir.
- A mis Docentes de la escuela de Ingeniería Ambiental por su apoyo incondicional en todos los años que duro mi formación académica.
- A mis padres quienes fueron parte principal en mi vida de estudiante y a mi asesor porque sin él no hubiera sido posible la culminación de este trabajo.

Gracias a todos infinitamente.

RESUMEN

Las principales cuencas hidrográficas y suelos de la ciudad de Cerro de Pasco y comunidades contiguas, sufren los efectos de la contaminación minera y reciben además las descargas de las aguas residuales domésticas de la población urbana, por la falta de sistemas de tratamiento. Por ello, existe la contaminación del suelo, aire y agua, debido a la presencia de la actividad extractiva que ejecuta métodos inadecuados, sin medidas de mitigación, lo que deteriora el medio ambiente, causando infertilidad de los suelos agrícolas y pecuarios, erosión, e ingreso de contaminantes en la cadena alimentaria, con múltiples impactos negativo en la salud de la población. La actividad minera ejercida por las diversas empresas en el distrito de Simón Bolívar, se configuran en un problema socio-ambiental y económico para la provincia y el departamento de Pasco, y la intoxicación que derivan de los metales pesados se constituyen en un grave problema de salud pública. Por esta razón, nace el presente estudio, cuyo objetivo es evaluar la exposición humana frente a estas múltiples fuentes de riesgo sanitario.

En este aspecto, se identificó que la cantidad de plomo original en el suelo de esta zona es de 243.90 mg/kg, concentración que es superior a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental del Suelo para Uso de Suelo Residencial y/o Parques (DS N° 011-2017-MINAM). Ante esta problemática, se elaboró la presente tesis que tiene como objetivo proponer la fitorremediación con *Ricinus communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo. Además, se preparó suelos a diferentes concentraciones de plomo a partir del nivel original; los cuales fueron de 458.62 mg/kg, 704.36 mg/kg, 955.94 mg/kg y 1210.32 mg/kg de plomo para lo cual se consideró tres repeticiones por cada tratamiento, así se evaluó la tolerancia del *Ricinus communis* al plomo. Los resultados obtenidos de acuerdo al análisis estadístico planteado para un nivel de confianza de 0.05 indican que el *Ricinus communis* fitorremedió mejor en suelos con

concentración de plomo entre 243.90 mg/kg y 835.63 mg/kg de Pb; y además, para el tratamiento de 243.90 mg/kg de Pb se disminuye su concentración hasta niveles inferiores al Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques. Finalmente, se realizó los cálculos correspondientes para hallar los factores de translocación y bioconcentración. Donde, con el factor de bioconcentración se determinó que el *Ricinus communis* no se considera como una planta hiperacumuladora, más bien entraría en la clasificación de una especie exclusora y con el factor de translocación se llegó a la conclusión de que esta planta es un fitorremediador del tipo fitoestabilizador; debido a que, limita la absorción del contaminante por la raíz y reduce la movilidad de este a otros tejidos de la planta; proponiendo esta planta para casos de contaminación de plomo en suelos que requiera de un tratamiento del tipo fitoestabilizador.

Palabras Clave: Fitorremediación, Fitorremediador, fitoestabilizador, bioconcentración, Estándar de Calidad del Suelo.

ABSTRACT

The main river basins and soils of the city of Cerro de Pasco and adjacent communities suffer the effects of mining pollution and also receive discharges of domestic wastewater from the urban population, due to the lack of treatment systems. Therefore, there is soil contamination, air and water, due to the presence of extractive activity that performs inappropriate methods, without mitigation measures, which deteriorates the environment, causing infertility of agricultural and livestock soils, erosion, and entry of contaminants into the food chain, with multiple negative impacts on the health of the population. The mining activity carried out by the various companies in the district of Simón Bolívar, are configured in a socio-environmental and economic problem for the province and the department of Pasco, and the poisoning derived from heavy metals constitutes a serious problem of public health. For this reason, the present study was born, whose objective is to evaluate human exposure against these multiple sources of health risk.

In this regard, it was identified that the amount of original lead in the soil of this area is 243.90 mg / kg, a concentration that is higher than that established in the Standard of Environmental Quality of Soil for Residential Land Use and / or Parks (DS N ° 011-2017-MINAM). Given this problem, the present thesis was prepared that aims to propose phytoremediation with *Ricinus communis* for the treatment of soils contaminated with lead. In addition, soils at different concentrations of lead were prepared from the original level; which were 458.62 mg / kg, 704.36 mg / kg, 955.94 mg/kg and 1210.32 mg / kg of lead for which three repetitions were considered for each treatment, thus the tolerance of *Ricinus communis* to lead was evaluated. The results obtained according to the statistical analysis proposed for a confidence level of 0.05 indicate that *Ricinus communis* phytoremedia best in soils with a lead concentration between 243.90 mg / kg and 835.63

mg / kg of Pb; and in addition, for the treatment of 243.90 mg / kg of Pb, its concentration is reduced to levels below the Environmental Quality Standard for soil DS N ° 011-2017-MINAM, for Residential Land Use and / or Parks. Finally, the corresponding calculations were performed to find the translocation and bioconcentration factors. Where, with the bioconcentration factor, it was determined that *Ricinus communis* is not considered as a hyperaccumulative plant, rather it would enter the classification of an exclusive species and with the translocation factor it was concluded that this plant is a phytoremediator of the phytostabilizer type; because, it limits the absorption of the contaminant by the root and reduces the mobility of this to other tissues of the plant; proposing this plant for cases of lead contamination in soils that require a phytostabilizer treatment.

Keywords: Phytoremediation, Phytoremediator, phytostabilizer, bioconcentration, Soil Quality Standard.

INTRODUCCIÓN

En busca de remediar la contaminación del suelo de la ciudad de Cerro de Pasco, el presente estudio optó por aplicar un método de tratamiento del suelo contaminado con un metal pesado como es el plomo a través de la Fitorremediación de suelos con *Ricinus Communis* ya que es una especie de fácil manejo y de muchos beneficios ambientales el cual se pretende identificar y determinar su grado de eficacia en la remoción del plomo del suelo contaminado.

La presente investigación está compuesta por cuatro capítulos; Capítulo I: Planteamiento del Problema de estudio; se plantea el problema, los objetivos y la justificación; Capítulo II: Marco teórico, donde encontramos trabajos realizados anteriormente en estudios similares, una definición de términos ambientales y bases teóricas científicas, hipótesis y definición de términos; Capítulo III: Métodos y Materiales de Investigación; Capítulo IV: Presentación de Resultados y Discusión.

Finalmente, las conclusiones obtenidas y las recomendaciones establecidas servirán para fomentar hacia la remediación y promover una vida saludable y un desarrollo sostenible de la zona.

ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	3
1.3.	Formulación del problema	4
1.3.1.	Problema Principal.....	4
1.3.2.	Problemas Específicos.....	4
1.4.	Formulación de objetivos.....	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos	4
1.5.	Justificación de la investigación	5
1.5.1.	Justificación teórica	5
1.5.2.	Justificación Práctica	5
1.5.3.	Justificación Metodológica.....	6
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	6

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio.....	7
2.2.	Bases teoricas - científicas.....	12
2.2.1.	Contaminación de suelos	12
2.2.2.	Características físicas y químicas del plomo.....	13
2.2.3.	Fuentes de contaminación de plomo	13
2.2.4.	Efectos del plomo en la salud.....	14
2.2.5.	Recuperación de los suelos o métodos de fitorremediación.....	16
2.2.6.	Mecanismos de absorción, translocación y tolerancia	19
2.2.7.	Biodisponibilidad del metal pesado.....	19
2.2.8.	Plomo (Pb)	19
2.2.9.	Organismo vegetal Ricinus communis (Higuerilla).....	20
2.2.10.	Tipos de muestreo	21
2.3.	Definición de términos básicos	26
2.4.	Formulacion de Hipótesis	31
2.4.1.	Hipótesis general.....	31
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	31
2.5.	Identificación de variables	31
2.5.1.	Variable dependiente	31
2.5.2.	Variable independiente.....	31
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	32

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	37
3.2.	Métodos de investigación	37
3.3.	Diseño de la investigación	38
3.4.	Población y muestra.....	39
3.4.1.	Población.....	39
3.4.2.	Muestreo.....	41
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos.....	41
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
3.7.	Tratamiento estadístico	46
3.8.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	46
3.9.	Orientación ética	46

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	47
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	51
4.2.1.	Resultado de contenido inicial de plomo en el suelo	51
4.2.2.	Resultado de evaluación de la tolerancia del ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo (tratamientos).....	62
4.2.3.	Resultados de la caracterización morfométrica	63

4.2.4. Resultado de concentración de plomo en los suelos y % de remoción al resultado	66
4.3. Prueba de Hipótesis	67
4.3.1. Analisis de varianza (ANOVA).....	67
4.4. Discusión de Resultados	70

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El problema con el que se vive día a día en nuestra sociedad es la contaminación y reducción de los recursos naturales, a causa de actividades naturales y antropogénicas, pero la actividad antropogénica es la que mayor impacto negativo ha generado, ya que en sus actividades diarias emiten contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, que provocan un problema irreversible sobre el medio natural. En los últimos periodos el aligerado crecimiento industrial y el incontrolable aumento de la población, trajo consigo graves inconvenientes de contaminación por metales (Cu, Pb, Zn, Ni, Se, As, Cd, Hg), promoviendo un aumento de su concentración en el ambiente, que a su vez deterioran los recursos naturales y en casos extremos provocan su pérdida. (Guerrero, M. & Cerna, L. 2012)

El problema ambiental generado por la contaminación del plomo en los últimos años ha cobrado mucha importancia. Considerando que más de las tres

cuartas partes del consumo mundial de plomo corresponden a la fabricación de baterías de plomo-acido para vehículos de motor. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos. Como pigmentos, pinturas, material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales. En la actualidad, buena parte del plomo comercializado en los mercados mundiales se obtiene por medio del reciclaje. (Organismo Mundial de Salud, 2016)

La ciudad del Cerro de Pasco, ubicada en la sierra central del Perú, en la provincia y departamento de Pasco, durante más de 400 años de historia minera, ha acumulado títulos honoríficos, por su riqueza minera y su valioso aporte a la corona española y al erario nacional; el año 1639 “Ciudad Real de Minas”, en 1771 “Villa Minera de Cerro de Pasco”, en 1825 “Distinguida Villa de Pasco”, en 1839 “Opulenta Ciudad del Cerro de Pasco” y en 1960 por la cuarta convención de ingenieros “Capital Minera del Perú”.

Con el paso de los años otros estudios, sobre todo internacionales fueron demostrando la grave afectación a la salud de los pobladores, como el desarrollado en julio del 2017, por el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC Atlanta de los Estados Unidos) - NCEH, en coordinación con la Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud, DIGESA Pasco; determinan la presencia no únicamente del plomo, sino también del talio y el cesio, que sobrepasan los parámetros de la OMS, en el organismo de niños(as) y mujeres gestantes; y los resultados de las muestras ambientales con presencia de cantidades superiores de plomo en el suelo y en el agua de consumo, de las poblaciones de Champamarca, Ayapoto y Paragsha.

En este aspecto, se identificó que la cantidad de plomo original en el suelo de esta zona es de 221.2 mg/kg, concentración que es superior a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental del Suelo para Uso de Suelo Residencial y/o Parques. (DS N° O11-2017-MINAM)

La Laguna Quiulacocha en el distrito de Simón Bolívar, es utilizada como dique en desechos mineros y está ubicada en la comunidad del mismo nombre. El dique tiene un color rojizoanaranjado por las enormes cantidades de metales, en mayoría óxidos de hierro.

A la orilla de la laguna hemos observado muchos animales, sobretodos perros y aves, muertos envenenados por tomar esta agua. La comunidad de Quiulacocha colinda con la laguna a menos de 50 metros (del otro lado de la carretera) y está expuesta a la contaminación directa de sustancias químicas presentes en la laguna: contaminación aérea por vapores y polvo enriquecidos de metales pesados tóxicos; y por la contaminación del suelo y del agua. El agua residual minera penetra en los acuíferos.

1.2. Delimitación de la investigación

El área de influencia donde se localizan los afectados por el problema de la Ciudad de Cerro de Pasco abarca una extensión superficial de 23,353.11 km² que equivale al 32% del territorio del departamento de Pasco. Según el Censo 2007 las localidades del área de influencia que se encuentran inmerso en el estudio, tiene una población total 64,525 habitantes.

Para mejor comprensión del área de influencia, se presenta el área geográfica del proyecto en el mapa de ubicación (Ver anexos)

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema Principal

¿La Fitorremediación de suelos con Ricinus Communis sería un método adecuado para tratar los suelos contaminados con plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas Específicos

¿Cuál es el contenido inicial de plomo en el suelo de la zona de estudio?

¿En qué consiste la caracterización fisicoquímico inicial del suelo?

¿Cómo evaluar la tolerancia al plomo del Ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo?

¿Cuál es el Factor de Traslocación del Ricinus communis?

¿Cuál es el Factor de Bioconcentración del Ricinus communis?

¿Cómo determinar la extracción de plomo del Ricinus communis?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo General

Proponer la fitorremediación con Ricinus communis para el tratamiento de suelos contaminados con plomo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el contenido inicial de plomo en el suelo.
- Realizar la caracterización fisicoquímica inicial del suelo.
- Evaluar la tolerancia al plomo del Ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo.
- Determinar el Factor de Traslocación del Ricinus communis.
- Determinar el Factor de Bioconcentración del Ricinus communis.
- Determinar la extracción de plomo del Ricinus communis.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

El motivo de la investigación surge fundamentalmente de la actual tendencia al incremento de la contaminación por altos niveles de plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco y su necesidad de control. El aumento de estos niveles de plomo en los últimos tiempos no está siendo proporcional con las medidas de control que se requieren para su atenuación; por lo que, los efectos que estos ocasionan en las poblaciones, son más incidentes y significativos que antes; dichas circunstancias son una de las razones que nos han llevado a plantear nuevas alternativas para mitigar dichos problemas en este ámbito.

Por otra parte, la existencia de un gran variedad de tratamientos de suelos hechos a partir de procesos químicos, térmicos, entre otros; que, por un lado, no son muy accesibles económicamente, nos ha generado la idea de buscar nuevas alternativas de remediación de suelos más económicas y que tanto su proceso de elaboración como su función contribuyan en forma positiva en el medio ambiente, y qué mejor que todo aquello se pueda llevar a cabo a través del aprovechamiento de una planta considerada como “maleza” denominada “*Ricinus communis*” o comúnmente llamada “Higuerilla” posee una gran tolerancia a distintas condiciones ambientales, que se desarrolla en distintos pisos ecológicos y que no son utilizados o reaprovechados de forma significativa y simplemente son desterradas de los suelos por considerarlas no beneficiosas.

1.5.2. Justificación Práctica

Se aplicó técnicas de tratamiento de origen netamente natural y sostenible, sin provocar cambios físicos y/o químicos bruscos del suelo contaminado.

Por tanto se escogió el *Ricinus communis* por su adaptabilidad y condiciones atípicas de crecimiento, limita la absorción del contaminante por la raíz y reduce la movilidad de este a otros tejidos de la planta; proponiendo esta planta para casos de contaminación de plomo en suelos que requiera de un tratamiento del tipo fitoestabilizador.

1.5.3. Justificación Metodológica

Por otra parte, la existencia de un gran número y variedad de tratamientos de suelos hechos a partir de procesos químicos, térmicos, entre otros; que, por un lado, no son muy accesibles económicamente, nos ha generado la idea de buscar nuevas alternativas de remediación de suelos más económicas y que tanto su proceso de elaboración como su función contribuyan en forma positiva en el medio ambiente, y qué mejor que todo aquello se pueda llevar a cabo a través del aprovechamiento de una planta considerada como “maleza” denominada “*Ricinus communis*” o comúnmente llamado “higuerilla” que posee una gran tolerancia a distintas condiciones ambientales, que se desarrolla a distintos pisos ecológicos y que no son utilizados o reaprovechados de forma significativa y simplemente son desterradas de los suelos por considerarlas no beneficiosas.

1.6. Limitaciones de la investigación

El presente estudio no presentó limitación alguna, por tanto los objetivos se lograron cumplir.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

La idea de utilizar la fitorremediación para eliminar los metales en suelos contaminados fue introducida en 1983, difundándose en 1990 por ser un tratamiento de bajo costo a comparación de los tratamientos convencionales de remediación de suelos (Chaney, 1997)

La Fitorremediación en desarrollo a lo largo de los años a través del estudio de diferentes especies de plantas que tuvieran la capacidad de eliminar los contaminantes presentes en un sustrato. (Vamerali et al., 2010) Además de notorias ventajas al usar las plantas para evitar que el viento, la lluvia y el agua subterránea transporten contaminantes lejos de los sitios a otras áreas. (International Journal Environment and Bioenergy. 2012)

Por otro parte, la fitorremediación ha generado mucho interés como tecnología rentable y respetuosa con el medio ambiente para la limpieza de contaminantes orgánicos e inorgánicos. La remediación ambiental basada en

plantas ha sido ampliamente aceptada por científicos académicos e industriales como una tecnología de Limpieza sostenible aplicable tanto en países desarrollados como en desarrollo. (Sharma et al., 2014)

Actualmente, se han identificado por lo menos 400 especies de plantas con el potencial para la remediación de suelos y aguas. Encontrándose que la especie vegetativa *Ricinus communis* posee una excelente capacidad de extraer metales tóxicos, así como algunos contaminantes orgánicos (Kuldeep et al, 2017), por ello tomamos como referencia las siguientes investigaciones basadas en el poder fitorremediador de dicha especie.

La investigación de Fitorremediación de plomo (Pb) y arsénico (As) con higuera (*Ricinus communis*) en asociación con micorrizas se basó en la evaluación de la capacidad fitoextractora metales pesados del *Ricinus communis* en suelos contaminados con plomo y arsénico. Utilizo plantas (n=72), colocadas en macetas de plástico, agregándoles una combinación de tres concentraciones de plomo (0, 400 y 800 mg·kg⁻¹), dos de arsénico (0,40 mg·kg⁻¹) y tres de micorrizas (0, 5 y 10g). Se evalué crecimiento, tasa fotosintética y concentración de plomo y arsénico en raíz, tallo y hoja. La tasa fotosintética no presento diferencias significativas a través del tiempo.

Se detecté un gradiente de concentración de plomo de la raíz a la parte aérea de la planta. En la raíz ocurrió la mayor acumulación de este metal, con una media general de 280.78 mg·kg⁻¹ y el índice de bioacumulación supero la unidad en algunos tratamientos. La mayor concentración de arsénico se presentó en la raíz con una media general de 31.40 mg·kg⁻¹ y el índice de bioacumulación superó la unidad en algunos tratamientos.

Ricinus communis tiene capacidad para acumular concentraciones de metales pesados principalmente en la raíz y en menor proporción en hoja y tallo, por lo tanto, tiene potencial como cultivo para fitoestabilización suelos contaminados. (Meza Nancy, 2014)

En el Estudio del desarrollo de la especie *Ricinus communis* cultivada en residuos mineros en condiciones de invernadero tuvo como objetivo investigar la tolerancia del *Ricinus communis* cultivada en sustratos preparados con una mezcla de jales y suelo no contaminado en las siguientes proporciones: 100% suelo, 50% suelo -50% jales, 30% suelo -70% jales y 100% jales, bajo condiciones de invernadero y en distintos tiempos. En el cual, se evaluó concentraciones de metales (Pb, Cu, Cr, Mn, Fe, Zn y As) en las raíces y tallos de las muestras, y se calculó el coeficiente de acumulación, así como el Índice de translocación. Se obtuvo que a 100 días de tratamiento con el sustrato preparado de 50% suelo -50% jales la planta absorbió en la raíz 25.9 mg/kg de Pb y en la parte aérea 9.8 mg/kg de Pb y en el sustrato preparado de 30% suelo - 70% jales absorbió 40.4 mg/kg de Pb en la raíz y en la parte aérea 9.0 mg/kg de Pb. Además, los valores del coeficiente de acumulación respecto a Cr, Cu, Mn, Pb, Zn y Fe superan la unidad demostrando que el *Ricinus communis* es una planta hiperacumuladora. (Castillo, 2015)

La investigación de Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados, uso especies vegetales como agentes descontaminantes de suelos contaminados por metales pesados.

Evaluando el *Cenchrus ciliaris* a 90 días de tratamiento, *Helianthus annuus* a 50 días, *Ricinus communis* a 70 días, *Nicotiana tabacum* a 70 días, *Sorghum sudanense* a 70 días y *Brassica campestris* a 50 días que fueron cultivadas en

macetas con un suelo de textura franco arenosa que se contaminó artificialmente 500 y 1000 mg de Pb^{-1} de suelo con el objetivo de evaluar su capacidad de acumular plomo. Las especies difirieron en su capacidad de acumular plomo. En el tratamiento de 500 mg de $Pb\ kg^{-1}$ de suelo el orden de estas capacidades ($P<0.05$) fueron: *N. tabacum* (3.27 y 3.08 mg de $Pb\ kg^{-1}$ en la materia seca total y en la parte aérea respectivamente) $>$ *R. communis* $>$ *C. ciliaris* $>$ *S. sudanense* $>$ *B. campestris* $>$ *H. annus*. Mientras que en el tratamiento de 1000 mg de $Pb\ kg^{-1}$ de suelo el orden ($P<0.05$) fue: *R. communis* (6.79 y 3.94 mg de $Pb\ kg^{-1}$ en la materia seca total y parte aérea respectivamente) $>$ *S. sudanense* $>$ *C. ciliaris* $>$ *H. annus*) $>$ *N. Iabacum* = *B. campestris*. (Rodriguez et al, 2006.

- **Rodríguez, M., (2015)** en su investigación titulada “Efecto del pH y la selectividad del metal en la capacidad de sorción de Pb y Cd por medio de plantas de junco (*Typha latifolia*) Movilidad y retención de metales pesados en residuos minerales y humedales”, presentado en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, para obtener el título de Doctora en Ciencias Ambientales, donde señala que los metales pesados, entre ellos el cadmio y el Pb, compuestos nocivos, producidos en gran cantidad por actividades antropogénicas (minería, producción de energía eléctrica, actividades agrícolas, etc.) Provocando daños ecológicos irreversibles. Menciona que la Fitorremediación es una tecnología sencilla, respetuosa con el medio ambiente y también se requiere menor energía que otras tecnologías limpias basada en principios físico-químicos. La importancia de este estudio esta direccionada en ilustrar el recorrido (ingreso) que hacen los cationesdivalentes Cadmio y Plomo en especies utilizadas en el proceso

de Fitorremediación y dar a conocer la relación que existe entre los mecanismos que intervienen en el transporte de Calcio, Hierro y Zinc.

Estos tres elementos están considerados como elementos esenciales para las plantas, al culminar el proceso de fitorremediación llega a determinar que la especie Vetiver llegó a reducir 71-85% de Cadmio y 97-99% de Plomo luego de 10 días de exposición a soluciones simples; en todo el proceso el vetiver logró acumular en su estructura 1,5 -2,4 veces más plomo que cadmio, los metales pesados absorbidos por la planta estaban situados mayormente en la raíz. También una parte de plomo fue traslocado a la parte aérea de la especie (10-15% del total), la cantidad de cadmio traslocado fue en menor proporción en comparación con el plomo (2-4%), en conclusión, el vetiver es capaz de absorber plomo y cadmio en su estructura, al ser expuesta a una solución 2,5-15mg/L se llegó a obtener los siguientes resultados 61% de Cadmio y 18-41% de Plomo respectivamente.

- **Chávez, R., (2014)** en el proyecto titulado “Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo” presentado en la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú, tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, donde menciona que a pesar de la alta contaminación del Pb en el suelo, hay una gran variedad de especies (plantas) quienes son capaces adaptarse en condiciones adversas y llegan a desarrollarse, esta capacidad los hace aptos para ser usadas en el proceso Fitorremediación. Para esta investigación se recolectaron 37 especies de plantas de doce lugares ubicados dentro de los siguientes departamentos La Oroya y Junín (Perú), lugares con abundantes áreas con relaves mineros, de todas las especies recolectadas se llegó a seleccionar 2 tipos de plantas del género

Calamagrostis y Nicotiana. Durante el proceso de Fitorremediación las dos especies fueron cultivados en tres dosis diferentes de Pb (700, 1000 y 1200 ppm) se cultivó en concentraciones altas, ya que en el estudio encampo se determinó una concentración elevada promedio de 1835.5 ppm. (raíz, tallo, hoja y flor)

De este modo llego a concluir, que las plantas (vegetales) nativas tienen la capacidad fitorremediadora, las especies aplicadas fueron de géneros Calamagrostis y Nicotiana. De las dos especies utilizadas en el proceso de fitorremediación la Nicotiana llegó a almacenar mayor cantidad de plomo en su biomasa aérea 96.5 ppm. En todo el proceso se llegó a determinar el factor de translocación total de plomo (0,39 mg. También señala que el proceso de fitorremediación (con especies nativas) se tiene que desarrollar en un periodo de tiempo más alargado, para tener mejores resultados, ya que la especie llegara a desarrollarse por completo y se podrá calcular la concentración total de plomo acumulado en su estructura.

2.2. Bases teoricas - científicas

2.2.1. Contaminación de suelos

Si bien muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse en forma natural en el suelo, muchas de ellas tienen como fuentes principales las actividades humanas como la minería, la explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, inclusive las actividades en las ciudades a través del mal manejo de los residuos sólidos y aguas residuales, entre otros. (Maqueda, 2003)

Un caso emblemático y persistente de contaminación de suelos en el Perú es La Oroya. En esta ciudad, desde 1922 se realizan actividades de fundición de metales, siguiendo 3 circuitos metalúrgicos: cobre, zinc y plomo. El plomo, así

como otras sustancias son emitidos dentro del proceso propio de una fundición, y al ser un elemento pesado, luego de contaminar el aire, se depositan en el suelo donde se acumulan e ingresan a la cadena alimenticia donde podrían magnificar su poder contaminante a un nivel a otro. (Cederstav & Barandiarén, 2002)

2.2.2. Características físicas y químicas del plomo

El plomo (Pb) se oxida superficialmente, si se encuentra expuesto al medio ambiente, formando una capa protectora de color gris, que viene a ser el sub óxido de plomo (Pb_2O), al mismo tiempo se pierde el brillo del metal que tiene, pero le sirve como protección a una ulterior oxidación. (Ubillus, J. 2003) por otra parte está ubicado en el grupo IV A (metales) de la tabla periódica. El metal (Pb) en su estado común o natural es de color gris (azulino) y se encuentra en pequeñas proporciones (0,00%) en la corteza terrestre. El Pb es encontrado como (galena, curocita, anglesita). Además, el Pb es muy nocivo para la salud humana, ya que afecta directamente el sistema nervioso, dañando las actividades naturales del sr humano, puede causar enfermedades teratogénicos y cancerígenos". (De La Roza, D. 2005)

2.2.3. Fuentes de contaminación de plomo

Las importantes causas de contaminación por plomo son la fundición, la transformación secundaria y la elaboración de metales, la fabricación de baterías de Pb y pigmento y químicas. En su totalidad el plomo liberado en el medio ambiente llega a largo mediano plazo retorna al suelo, cuando el metal (plomo) entra en contacto con el suelo, se llevan a cabo los siguientes procesos para determinar su destino final. Todo dependerá del tipo desuelo y las características fisicoquímicas del mismo, los procesos que se llevan a caboson los siguientes (adsorción, intercambio iónico, precipitación y la oxidación). En el medio

ambiente se encuentra como un contaminante común. (óxidos, hidróxidos) (De la Roza, D., 2005)

Hay que tener en cuenta que degradación del suelo por metales pesados ha sido relacionado directamente con las actividades (industriales, mineras, naturales) la contaminación natural por metales pesado se da por diferentes actividades de la propia naturaleza (volcanes). Los metales (Cu, Pb, Zn, Ni, Se, As, Cd, Hg, etc.) son liberados al medio ambiente por actividades sin mayor control como la minería ilegal o industrias que nocuentan con medidas para tratar sus efluentes. Estoy en su mayoría son tóxicos para todo cualquier actividad microbiana. (GUERRERO, M. & CERNA, L. 2012) Así mismo el Perú cuenta con grandes depósitos demetales como plomo, en forma (PbS), este mineral es abundante en zonas mineras de la Sierra peruana, y es uno de los focos más grandes de contaminación, de Pb ambiental el que a su vez puede producir lluviasacidas de ácido sulfúrico”. (UBILLUS, J. 2003)

2.2.4. Efectos del plomo en la salud

El Pb es uno de los metales que mayor daño ha causado en el territorio peruano (cerro de Pasco), por la fácil asimilación con los grupos funcionales (sulfhidrilo). Al ser absorbido por el ser humano este actúa conjuntamente con el Zn reemplaza a calcio afectado todo el sistema que requiere de calcio, ver cuadro N° 01. (Tello, M. 2015)

Cuadro N° 01: Efectos del plomo en la salud

<i>Efectos del Plomo en la salud</i>
a. Reemplaza al calcio y se comporta como un segundo mensajero intracelular, alterando la distribución del calcio en los compartimientos dentro de la célula.
b. Activa la proteinquinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares.
c. Se une a la calmodulina más ávidamente que el calcio, esta es una proteína reguladora importante.
d. Inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio.

Fuente: Elaboración propia a partir de. (Tello, M. 2015)

De modo que la repartición del Pb, una vez absorbida, se lleva a cabo por tres ramificaciones de igual medida (huesos, tejidos blandos y sangre). El Pb presente en la sangre puede llegar a ser el 2% de todo lo absorbido; El 95% es transportado junto a los eritrocitos, en un tiempo estimado de 36 días, pasado estos 36 días es distribuido tanto a los huesos como a los tejidos blancos. El compartimiento consiste en tejidos blandos tales como: sistema nervioso riñón, y hígado; haciendo un promedio del 10% del contenido total del cuerpo, con una duración aproximada de 40 días. “El tercer compartimiento está formado por tejido óseo, funciona como depósito general para todo el Pb ingerido por el ser humano el 90% que se incorpora a la matriz ósea reemplazando al calcio, en esta parte del organismo puede mantenerse entre 10- 30 años, ya que forma compuestos altamente estables. (Valdivia, M. 2005).

Cuadro N° 02: Efectos de los metales pesados en la salud humana

As	Es análogo del fosfato y causa interferencias en procesos celulares esenciales como es la fosforilación oxidativa y la síntesis de ATP.
Cd	Carcinogénico, mutagénico y teratogénico; disruptor endocrino; interferencias con el calcio en la regulación de sistemas biológicos; causa fallo renal y anemia crónica.
Cr	Causa pérdida del cabello.
Cu	Se ha encontrado que niveles elevados causan daños en el cerebro y el riñón, cirrosis hepática y anemia crónica, irritación intestinal y estomacal.
Hg	Ansiedad, enfermedades autoinmunes, depresión, pérdidas de equilibrio, modorra, fatiga, pérdida del cabello, insomnio, irritabilidad, pérdida de memoria, infecciones recurrentes, inquietud, fallos en la visión, tembor, arrebatos de temperamento?, úlceras y daños en el cerebro, riñón y pulmones.
Ni	Dermatitis alérgica; la inhalación puede causar cáncer de pulmón, nariz, mama, garganta y estómago; hematotoxicidad, neurotóxico, genotóxico, toxico reproductiva, toxico pulmonar, nefrotóxico, y hepatotóxico; causa pérdida del cabello.
Pb	Su ingesta causa problemas en los niños como subdesarrollo, reduce la inteligencia, pérdida de memoria a corto plazo, discapacidad del aprendizaje y problemas de coordinación; causa fallo renal; aumenta el riesgo a desarrollar enfermedades cardiovasculares.
Zn	La sobredosis puede causar mareo y fatiga.

Fuente: ALI. H (2013)

2.2.5. Recuperación de los suelos o métodos de fitorremediación

La elección de una estrategia de remediación dependerá de la naturaleza de los contaminantes. Los suelos contaminados con metales pesados son extremadamente difíciles de remediar y normalmente son excavados y sustituidos con suelo nuevo. Además, algunas zonas contaminadas con metales son tratadas con otras técnicas, como la lixiviación ácida, separación física del contaminante o procesos electroquímicos que tienen costos muy elevados. (Cunningham, 1995)

Las técnicas de fitorremediación de diversos tipos:

- Fitoextracción
- Fitoestabilización
- Fitodegradación

- Rizodegradación
- Rizofiltración
- Fitovolatilización
- Fitosalinización

La fitoextracción hace referencia a la absorción de contaminantes del suelo por las raíces de las plantas, y su transporte a las partes aéreas o cualquier parte que sea recolectable para eliminar los contaminantes y promover una limpieza a largo plazo del suelo. Según este enfoque, las plantas capaces de acumular metales deben ser plantadas en las zonas contaminadas y la biomasa enriquecida en metales pesados por la absorción radicular debe ser cosechada. Como resultado, una fracción de metal pesado se elimina del sistema. El éxito de la fitoextracción como técnica de rehabilitación potencial depende de factores como:

Disponibilidad de los metales.

- Capacidad de las plantas para absorber y acumular los metales en las partes aéreas.

Las plantas ideales para la fitoextracción deben tener:

- La habilidad de producir grandes cantidades de biomasa.
- Ser fáciles de recolectar.
- Tener un rango amplio de acumulación de metales pesados en sus partes recolectables.

No obstante, no se conoce ninguna planta que cumpla con todos los criterios. El uso de plantas modificadas genéticamente se puede usar también para cumplir con los mencionados atributos. La tasa de fitoextracción directamente proporcional a la tasa de crecimiento de la planta, y la cantidad total de los metales

fitoextraídos están relacionada con la biomasa recolectada, lo que hace el proceso de fitoextracción muy lento.

Para ello es necesario identificar especies de rápido crecimiento y fuertes genotipos acumuladores. (Bhargava et al, 2012)

Este tipo de tecnologías relativamente recientes presentan gran potencial en comparación con las tecnologías tradicionales ya que, entre otras cosas son mucho más amigables con el ambiente, menos costosas y pueden ser más fácilmente aceptadas por el público en general. (Hazrat et al., 2013)

A continuación, se presentan las ventajas de costo de la fitorremediación en comparación con otras técnicas.

Tabla N° 01: Ccomparacion de costos de la fitorremediacion frente a otros tratamientos tradicionales

Tipo de tratamiento	Intervalo de costos (Dólares/ton)
Fitorrestauración (fitorremediacion)	10 - 35
Biorremediación In situ	50 - 150
Venteo de suelo	20 - 220
Térmico indirecto	120 - 300
Lavado de suelo	80 - 200
Solidificación/estabilización	240 - 340
Extracción por solvente	360 - 440
Incineración	200 - 1500

Fuente: (Schnoor, 2000)

2.2.6. Mecanismos de absorción, translocación y tolerancia

Los metales pesados son transportados al interior de la planta en forma de iones. Estos atraviesan una serie de transportadores especializados o acoplados a proteínas portadoras de protones en la membrana plasmática de la raíz (Greipsson, 2011). Posteriormente, los iones podrán ser almacenados en las raíces o traslocados a los tejidos a través de los vasos de la xilema (Prasad, 2004) donde serán depositados en vacuolas, eliminando así el exceso de iones metálicos del citosol y así reducir las interacciones con los procesos metabólicos celulares. (Sheoran et al., 2011)

2.2.7. Biodisponibilidad del metal pesado

La biodisponibilidad del metal es tal vez el factor más importante que determina el grado de toxicidad de un contaminante. y que se conviene en un factor muy importante para determinar la eficiencia un proceso de fitorremediación (Mneets, 2004-2005). Los metales pesados en los suelos pueden encontrarse bajo distintas formas: iones libres o componentes solubles, iones intercambiables absorbidos en la fase sólida e inorgánica del suelo, partículas precipitadas o insolubles, complejos solubles o insolubles o incorporados en la estructura cristalina de las arcillas (Meers, 2004-2005). El metal disponible o biodisponible está compuesto por la fracción que puede ser tomada por la planta de la solución suelo y su abundancia esté fuertemente relacionada a factores físicos, químicos y biológicos. (Chin. 2007)

2.2.8. Plomo (Pb)

El plomo es un contaminante mayor en el ambiente y que genera gran preocupación para la salud humana y los ecosistemas. (Ortiz et al., 2009)

Es un elemento relativamente abundante en la naturaleza (13mg kg⁻¹ en la corteza terrestre, fundamentalmente como Sulfuro de Plomo) y prácticamente ausente en los océanos (0.003ppb). El plomo suele estar en rocas acidas (ricas en sílice, granito, etc.) En pizarras y, en algunos casos, en calizas. (Carrillo, 2003)

Las fuentes más importantes de plomo ambiental son las partículas residuales de aerosol y el polvo cerca de las carreteras; las cenizas de fundiciones; la fabricación; reciclado y disposición de baterías; el humo de cigarrillos y las viejas pinturas a base de compuestos de plomo. (Colin & Moleon, 2003)

2.2.9. Organismo vegetal *Ricinus communis* (Higuerilla)

Uno de los factores que limita el éxito de la fitorremediación, y que se convierte en una de sus limitantes es el grado de contaminación en el suelo ya que el crecimiento de las plantas no es muy viable en suelos altamente contaminados. (Hazrat et al., 2013)

El éxito de todo programa de fitorremediación de la mano con una adecuada selección de especies acumuladores de metales. (Salas, 2007)

Ricinus communis (Higuerilla) es una especie oleaginosa tropical, arbustiva y de la familia de las Euforbiáceas. Es una planta conocida desde tiempos remotos, habiéndose encontrado semillas en sarcófagos egipcios hace miles de 4000 años. (Hemerly, 1981)

En cuanto a su distribución_ ha sido introducida en casi todas las regiones del mundo, principalmente en regiones calidas donde se ha naturalizado por ser planta cultivada desde la antigüedad para obtener aceite de ricino o como especie ornamental. (Fonnegra, 2007)

Características del *Ricinus communis*

El *Ricinus communis* se caracteriza por diferentes hábitos de crecimiento, color de las hojas y tallo, tamaño, cloración y porcentaje de aceite en la semilla, lo que determina que los cultivares son diferentes entre sí. El porte de la planta es arbustivo o arbóreo, siendo una planta perenne en zonas tropicales y subtropicales, y anual en zonas templadas. La altura de la planta varía de 0,80 m a 12 m. (Távora, 1982)

La raíz es pivotante y profunda constituyendo el anclaje principal de la planta. Presenta raíces secundarias y terciarias las cuales se encuentran en su mayoría a poca profundidad. (Robles, 1980)

Presenta un tallo principal recto, seccionado por entrenudos que pueden ser de 11 a 20 y que al inicio es relleno y con el tiempo se hace hueco.

El diámetro puede variar de 3 a 15 cm., sus colores fundamentales son verde, rojo y caoba, algunas variedades muy ramificadas y otras sin ramificación. (Robles, 1980)

Las hojas son alternas, pecioladas, palmeadas con 5 a 11 lóbulos, dentadas, con nerviación palmatinervia. Peciolos redondos de 18 a 60 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina, dos glándulas en la unión con el peciolo; la lámina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color acorde al del tallo. (Robles-, 1980)

2.2.10. Tipos de muestreo

a. Muestreo de Identificación (MI)

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no

los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. El alcance del MI estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.

En el muestreo de identificación, no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes en un suelo, sin embargo, para contar con un límite de confianza aceptable, es pertinente realizar un número mínimo de puntos de muestreo.

Los resultados analíticos del MI serán comparados inicialmente con los ECA suelo. Si los valores detectados en el suelo superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado y se procede con la fase de caracterización.

Para la elaboración del muestreo de identificación es necesario utilizar la información de la investigación histórica y la inspección del sitio potencialmente contaminado, que provee de insumos para la elaboración del modelo conceptual inicial, el mismo que debe ser lo suficientemente detallado para identificar claramente las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación. La hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual orientan el diseño del muestreo de identificación.

b. Muestreo de Detalle (MD)

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) del suelo contaminado en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación.

El muestreo de detalle, cuantifica y delimita las zonas de afectación del suelo y las plumas de propagación en el agua subterránea, tanto en espacio y tiempo, a partir del modelo conceptual redefinido. Caracteriza los medios en relación a factores que influyen en la liberación, migración y comportamiento de los contaminantes, a través de la delimitación y cuantificación de los focos; así el muestreo de detalle deberá también enfocarse a la determinación de las probables rutas y vías de exposición debiendo considerar los posibles puntos de exposición en el caso de que se lleve a cabo una evaluación de riesgos a la salud y el ambiente. (ERSA)

Como resultado de la información generada (modelo conceptual final), se establece la necesidad de continuar con los siguientes procesos de gestión de un suelo contaminado: la realización del ERSA (de ser el caso) y, la propuesta de remediación, que podría incluir las siguientes acciones:

- De remoción de contaminantes
- De contención
- De atenuación natural monitorizada
- De restricciones de uso
- De control de riesgo
- De acciones de emergencia, etc.

Para el MD deberá tomarse un número de puntos mínimos de muestreo, las cuales se indican en el Tabla N° 6.

En el caso de que la información obtenida a través del Muestreo de identificación no sea concluyente, se debe realizar un muestreo

sistemático lo suficientemente detallado como para justificar la validez estadística asociada al grado de definición de la alteración.

c. Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los químicos regulados por el ECA suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides.

Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes.

La estrategia del muestreo de nivel de fondo ha de ser debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, usando como ayuda los datos y conclusiones de la Fase de Identificación. Así, la localización del área de muestreo ha de considerar lo siguiente:

- El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.

- Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio.

Se debe proponer una estrategia de muestreo en base a la Fase de Identificación y los criterios del especialista o empresa calificada.

d. Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC)

Tiene como objetivo demostrar que las acciones de remediación implementadas en un suelo contaminado, alcanzaron de forma estadísticamente demostrable, concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en el ECA Suelo o los niveles de remediación específicos establecidos en base al Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), según su guía correspondiente.

Los resultados serán incorporados en el Informe de culminación de acciones de remediación que será presentado a la entidad de fiscalización ambiental correspondiente.

Es recomendable que antes de la realización de un Muestreo de comprobación de la Remediación (MC) se realice un muestreo preliminar (muestreo que al no ser obligatorio se realiza bajo criterios de la empresa), con la finalidad de tener un buen margen de seguridad que los resultados del MC sean exitosos (el MC se realiza con laboratorio acreditado y en lo posible con la presencia de la autoridad fiscalizadora). Las experiencias recopiladas de otros países muestran que cuando no se realiza un muestreo preliminar entonces es muy probable que ocurran MC subsecuentes.

Para la remediación consistente en la remoción de suelos contaminados se muestra seguidamente el procedimiento para la determinación de los puntos de muestreo en el área de excavación.

2.3. Definición de términos básicos

- a. **Suelo.** - Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad. (MINAM- Guía para muestreo de suelos, 2014)
- b. **Suelo contaminado.-** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana. (MINAM- Guía para muestreo de suelos, 2014)
- c. **Plomo (Pb).-** El plomo es un metal gris negro, que encontramos distribuido en toda la corteza terrestre y en diferentes materiales fabricados por el hombre Ingerido o inhalado, el plomo es tóxico. Se encuentra en la sangre donde será acumulado en el organismo, especialmente a nivel de los tejidos blandos. (CCM Salud, 2017)
- d. **Fitorremediación.** - La fitorremediación una técnica biológica de descontaminación que consiste en la utilización de plantas para la eliminación de contaminantes y metales del suelo. (Thieman & Palladino, 2010)

El cuadro N° 1 muestra las principales ventajas que ofrece la fitorremediación, en comparación con otras tecnologías convencionales.

Cuadro N° 03: Ventajas y desventajas de la fitorremediación

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología sustentable • Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ • Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas • Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía • Es poco perjudicial para el ambiente • No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho • Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable • Evita la excavación y el tráfico pesado • Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos • Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos) • Es dependiente de las estaciones • El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental • Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes) • Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión • No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras • La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes • Se requieren áreas relativamente grandes

	<ul style="list-style-type: none"> • Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)
--	--

Fuente: (Polprasert, 1996; Brooks, 1998; Raskin y Ensley, 2000)

- e. **Fitoextracción.** - La fitoextracción implica el cultivo de plantas superiores que concentran y trastocan contaminantes del suelo en sus tejidos sobre el suelo que pueden ser cosechados al final al periodo de crecimiento. Es el más eficaz entre varios métodos de fitorremediación aunque existen dificultades técnicas para sus aplicaciones. La selección de especies de plantas adecuadas es crucial para una fitoextracción eficaz y la biomasa derivada de un brote de una planta de cultivo de fitorremedidor debe ser capaz de depositar especies de metal a una concentración 50-500 veces mayor que en el sustrato de suelo contaminado. (Dharmendra, 2013)
- f. **Fitoestabilización.** - La fitoestabilización es el proceso para reducir la movilidad de los contaminantes en el suelo a través de absorción en las raíces, absorción y acumulación por las raíces, o precipitación dentro de la zona de las raíces.
- La vegetación se utiliza para estabilizar la migración de contaminantes por lixiviación, erosión a dispersión junto con el suelo, el agua o el aire para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y los ambientes circundantes. (Dharmendra, 2013)
- g. **Rizofiltración.** - Este método de fitorremediación puede definirse como el uso de plantas acuáticas flotantes o sumergidas para absorber, concentrar y eliminar los compuestos peligrosos, particularmente los metales pesados o los radionúclidos del medio acuoso por sus raíces. (Dharmendra, 2013)

- h. **Micorrizas.-** A Las micorrizas son una asociación simbiótica mutualista entre raíces de plantas superiores y ciertos grupos de hongos en los suelos. Estos hongos dependen de las plantas para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrientes minerales. (Blancof & Salas. 1997)
- i. **Rizosfera.-** Es la parte del suelo inmediata a las raíces de las plantas. En esta región se llevan a cabo una serie de reacciones físicas y químicas que afectan a la estructura del suelo y a los organismos que viven en él. (M. Martin et al.)
- j. **Calidad de suelos.-** Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas. (MINAM - Guía para muestreo de suelos, 2014)
- k. **Estándar de calidad ambiental (ECA).-** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiere, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (MINAM - Guía para muestreo de suelos, 2014)
- l. **Tolerancia.-** 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 et al., 2002, Wenzel, 2002). Si, por el contrario dicho valor es

menor a 1, la translocación del metal es baja por lo que éste es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización. (Audet & Charest, 2007)

- m. **Muestra.-** Es una parte o un subconjunto representativo de la población. (Moya, 1991)
- n. **Muestreo de identificación.-** Es aquel orientado a identificar si el suelo está contaminado. (MINAM Guía para muestreo de suelos, 2014)
- o. **Población.-** Es la colección de todos los individuos, objeto u observaciones que poseen al menos una característica común. (Moya, 1991)
- p. **Áreas de influencia.-** Perímetro inmediato del emplazamiento donde hay indicio o alguna evidencia de contaminación potencial del suelo. (MINAM, Glosario de términos)
- q. **Jales.-** Los jales mineros son los apilamientos de rocas molidas que quedan después de que los minerales de interés como el plomo, zinc, cobre, plata y otros han sido extraídos de las rocas que los contienen. (The University of Arizona)
- r. **Absorción.-** La absorción radicular es la vía mayoritaria de entrada a la planta de muchos elementos y es necesario que el elemento se encuentre disuelto para ser absorbido por la planta. (Menguel & Kirkby, 2001)
- s. **Planta hiperacumuladora.-** La hiperacumulación es la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. Estas plantas hiperacumuladoras han desarrollado mecanismos internos de tolerancia a la toxicidad por metales.

Esta peculiaridad las hace útiles para el hombre como herramienta en las nuevas tecnologías de fitorremediación. (Llugany et al., 2007)

- t. **Planta exclusora de metales.-** Previenen la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. (Ghosh & Singh, 2005)

2.4. Formulacion de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La fitorremediación de suelos con *Ricinus communis* trata significativamente los suelos contaminados con plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El contenido inicial de plomo en el suelo de la zona de estudio es alto por tanto es un gran contaminador.
- La fitorremediación de suelos con *Ricinus communis* es un técnica significativa y eficaz en la remoción de plomo.
- Los suelos contaminados con plomo de la zona de estudio se pueden tratar con el método de fitorremediacion por su alto grado de eficacia.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Fitorremediación con *Ricinus communis*

2.5.2. Variable independiente

Para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tratamiento de suelos contaminados con plomo

a) Definición Conceptual

Proceso de reducción de contaminantes en un medio por acción de la fitorremediación con *Ricinus communis*.

b) Definición Operacional

La reducción del contaminante en el suelo dependerá de sus características físicas y químicas, los cuales serán medidos con los siguientes indicadores:

- Concentración de plomo
- pH
- Textura
- Porcentaje de humedad

Cuadro N° 04: Operacionalización de Variables

TIP O	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
GENERAL	¿La Fitorremediación de suelos con Ricinus Communis sería un método adecuado para tratar los suelos	Proponer la fitorremediación con Ricinus communis para el tratamiento de suelos contaminados con plomo	La fitorremediación de suelos con Ricinus communis trata significativamente los suelos contaminados con plomo en	VARIABLE INDEPENDIENTE: TRATAMIENTO DE SUELOS	La Absorción es el proceso por el cual una sustancia tóxica es incorporada a la estructura de la especie, y son transformados a sustancias más estables.	Se obtendrán los datos de las fuentes primarias, la Ricinus communis será trasplantado en maceteros de plasticon con la muestra de suelo	Atributos físicos	Tamaño de las hojas	Kg
								Numero de hojas	Unidad
								Tamaño de la raíz	cm
							Concentración	Plomo en la raíz	mg/kg

	contaminados con plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco?		la Ciudad de Cerro de Pasco		(MINAM. 2013, p 03.) Ricinus Communis sirve para extraer plomo de un suelo contaminado con altas concentraciones por este metal. (SIERRA, R. 2006)	contaminado con Pb, al cabo de 100 días se evaluará la absorción en las hojas y raíces, además de su desarrollo, tamaño y crecimiento de la raíz.		Plomo en las Hojas	
ESPECIFIC	-Determinar el contenido inicial de	-Determinar el contenido inicial de	La fitorremediación de suelos con	VARIABLE DEPENDIEN	La Fitorremediación abarca todas	Tecnología sustentable que se basa en el uso	Parámetros fisicoquímicos	Conductividad Inicial	μS/cm

	plomo en el suelo.	plomo en el suelo.	Ricinus communis es una técnica significativa.		aquellas técnicas de descontaminación del suelo basadas en el uso de plantas, que pueden acumular elementos tóxicos en su estructura o reducir supeligro a través de la transformación química a sustancias estables. Según	de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismo	de sus efectos	Conductividad Final	μS/cm	
	-Realizar la caracterización fisicoquímica inicial del suelo.	-Realizar la caracterización fisicoquímica inicial del suelo.	Los suelos contaminados con plomo se pueden tratar con el método de la fitorremediación.		de plantas, que pueden acumular elementos tóxicos en su estructura o reducir supeligro a través de la transformación química a sustancias estables. Según	de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismo	de sus efectos	pH Inicial	0-14	
	-Evaluar la tolerancia al plomo del Ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo.	-Evaluar la tolerancia al plomo del Ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo.	Los suelos contaminados con plomo se pueden tratar con el método de la fitorremediación.		de plantas, que pueden acumular elementos tóxicos en su estructura o reducir supeligro a través de la transformación química a sustancias estables. Según	de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismo	de sus efectos	pH Final	0-14	
								Remoción de Plomo (Pb)	Plomo (Pb) Inicial	mg/kg
								Remoción de Plomo (Pb)	Plomo (Pb) Final	mg/Kg

<p>- Determinar el Factor de Traslocación del Ricinus communis</p>	<p>-Determinar el Factor de Traslocacion del Ricinus communis.</p>			<p>el tipo de proceso que las plantas realizan para remediar los suelos.</p>	<p>s asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción,</p>			
<p>- Determinar el Factor de Bioconcentración del Ricinus communis.</p>	<p>-Determinar el Factor de Bioconcentración del Ricinus communis.</p>			<p>(CARPENA, R. & BERNAL, M. 2007)</p>	<p>mineralización, gradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de</p>			
<p>-Determinar la extracción de plomo del Ricinus communis.</p>	<p>-Determinar la extracción de plomo del Ricinus communis.</p>				<p>contaminantes</p>			

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental - correlacional.

La investigación viene a ser de tipo Experimental debido a que se estudia la variable X= (Fitorremediación con *Ricinus communis*) como causa y la variable Y= (Tratamiento de suelos contaminados con plomo) como efecto.

A la vez se analizó la interacción entre las 2 variables por eso viene a ser también una investigación del tipo Correlacional.

3.2. Métodos de investigación

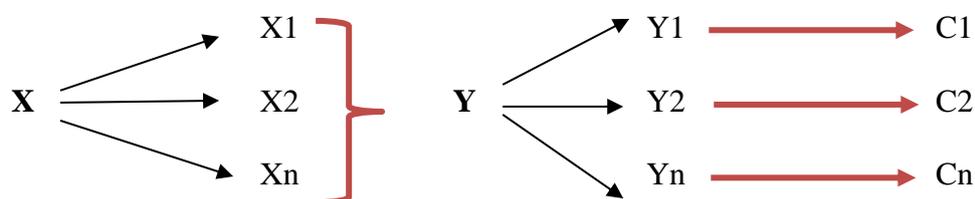
La presente investigación tiene un enfoque experimental dado que se recogen los datos para probar la hipótesis general y específica, mediante la medición de las variables, pruebas y análisis de resultados. El tipo de investigación por su naturaleza de estudio es sustantiva, de nivel explicativo. Para Sánchez y Reyes (2015) refieren que permite “describir, explicar, y predecir

la realidad” y “al descubrimiento de factores causales que han podido incidir o afectar la ocurrencia de un fenómeno” (pp.15, 17).

3.3. Diseño de la investigación

Con el fin de validar la hipótesis y cumplir con los objetivos planteados en esta investigación se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA) donde se uso de forma experimental el Ricinus Communis sometiénola a diferentes tratamientos de plomo.

Diseño científico:



Donde:

X: Variable Dependiente: Fitorremediación con Ricinus communis (en varios tiempos)

Y: Variable Independiente: Tratamiento de suelos contaminados con plomo

C: Control: Efectos de la aplicación de fitorremediación

Para lo cual, se consideraron las siguientes etapas:

- Identificación de los puntos de muestreo y contaminante en el área.
- Recolección y germinación del Ricinus communis.
- Preparación de los sustratos.
- Caracterización fisicoquímica inicial de los sustratos.
- Preparación de las unidades experimentales y tratamientos de análisis
- Caracterización morfométrica de Ricinus communis.
- Caracterización fisicoquímica final de los sustratos y determinación de plomo en el Ricinus Communis.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población seleccionada está representada por el área de influencia directa de las fuentes de contaminación de plomo en el suelo, que se ubican en la ciudad de Cerro de Pasco.

Tabla N° 02: Puntos de monitoreo de Suelo – Champamarca - Cerro de Pasco

Puntos de Monitoreo	Ubicación Coordenadas UTM	Descripción
E - 1	N 8 818 420 E 361 502	Al costado de la escuela, Nivel Primario 34037
E - 2	N 8 818 334 E 361 527	A 20 m. del Crucero de la Av. Marañon y Psje. Amazonas.
E - 3	N 8 816 898 E 359 381	Esquina entre Av. Marañon y Calle Brasil (Paradero de Combis)
E - 4	N 8 818 355 E 361 357	Patio de la Institución Educativa, Puerta Inicial 34037
E - 5	N 8 818 420 E 361 502	Jr. Quiulacochoa
E - 6	N 8 818 334 E 361 527	Calle Los Olímpicos
E - 7	N 8 818 363 E 361 419	Jr. Ucayali con Psje. Huallaga

E - 8	N 8 818 355 E 361 357	Cruce de la Calle Brasil con Jr. Pachiteo, al costado de la loza deportiva
Blanco 1	N 8 819 60 E 355 114	Comunidad Campesina de Rancas - Zona Rural, margen izquierda del río San Juan

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Tabla N° 03: Puntos de monitoreo de Suelo – Quiulacocha - Cerro de Pasco

Puntos de Monitoreo	Ubicación Coordenadas UTM	Descripción
E - 1	N 8 816 922 E 359 561	A 100 m. De la entrada a Quiulacocha, entre el Estadio y la Av. Progreso
E - 2	N 8 816 868 E 359 447	En el estadio, a 100 m. De la Torre de alta Tensión
E - 3	N 8 818 363 E 361 419	Psje. Al costado de la Vía Quiulacocha - Rancas, frente a la capilla San Sebastián
E - 4	N 8 817 007 E 359 356	Al costado de la Cancha de Fútbol
E - 5	N 8 816 896 E 359 180	Costado de la Vía Quiulacocha Rancas a 100 m. De la Posta
E - 6	N 8 816 942 E 359 177	Institución Educativa Integrada N° 3403, 13 de Agosto

E - 7	N 8 816 936 E 359 080	Psje. Entre la Av. Progreso y la Av San Sebastián
E - 8	N 8 816 925 E 359 021	Costado de la Vía Quilacocha - Rancas
Blanco	N 8 819 60 E 355 114	Comunidad Campesina de Rancas - Zona Rural, margen izquierda del río San Juan.

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

3.4.2. Muestreo

El muestreo es probabilístico y de tipo estratificado con afijación proporcional.

Tamaño de muestra:

Para la presente investigación, se consideró una muestra compuesta de 3 suelos contaminados con plomo tomada de 16 puntos del área de influencia directa o superficie limitada. La muestra compuesta fue un aproximado de 100 kg, los cuales se dividieron en cinco grupos para conformar los tratamientos a diferentes concentraciones de plomo. (Ver anexo C)

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

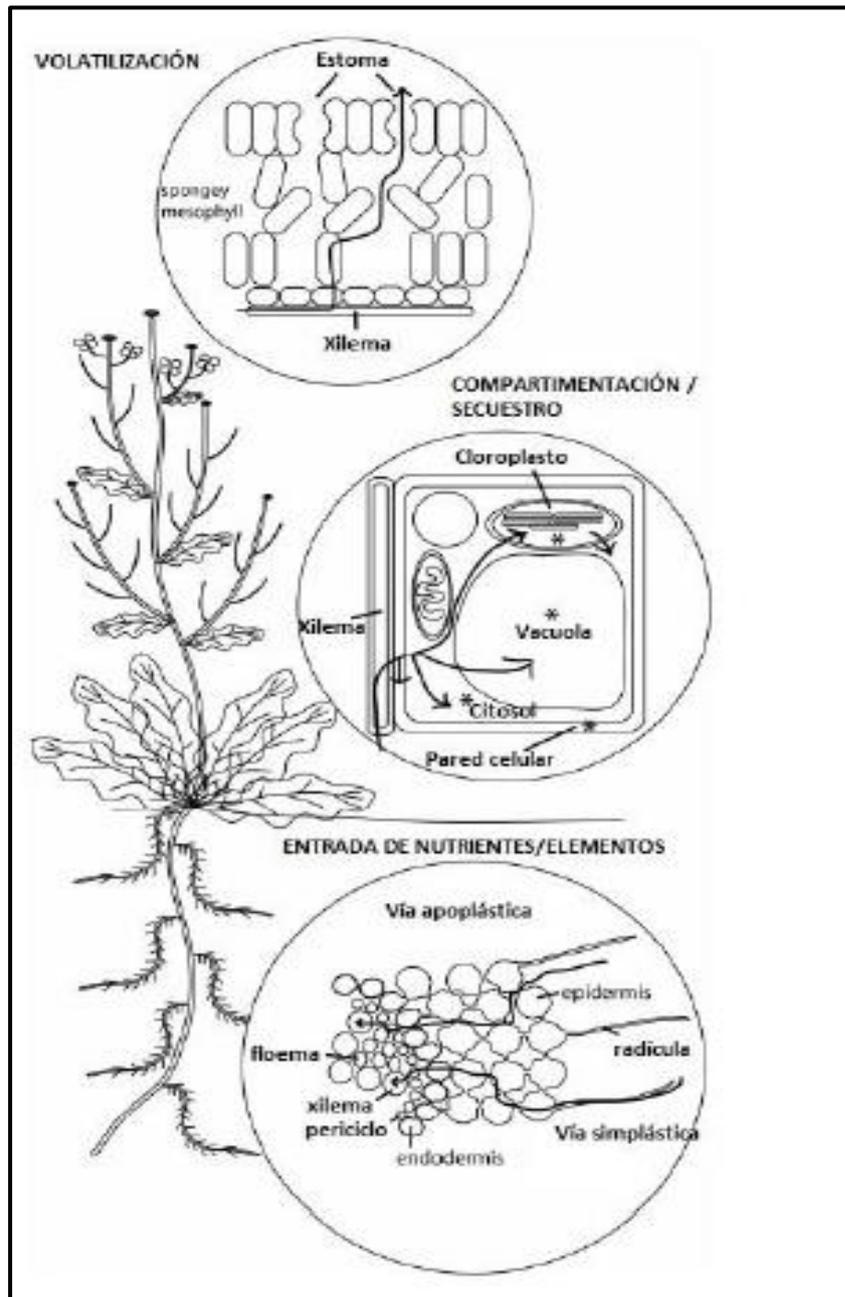
Las técnicas de recolección de datos se desarrollaron en los Laboratorios para determinar los parámetros físicos y químicos de las muestras de suelos y del *Ricinus communis*, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 04: Parámetros y técnicas de análisis

Parámetros	Unidad de Medida	Método de análisis
Plomo total en suelo	mg/kg	EPA 3050-B Rev. 02 (1996) EPA 200.7 Rev. 4.4 (1994)
pH	Unidad de pH	APHA 4500-H + B
Textura de suelo	--	Triangulo de Textura de Suelo
Porcentaje de humedad	--	NTP 399.128
Plomo en la planta	mg/kg	EPA 3050- B Rev. 02 (1996) EPA 200.7 Rev. 4.4 (1994)

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Figura 1: Proceso general de absorcion de metales de la planta



Fuente: Proceso general de absorcion de metales de la planta (Adaptado de Peer et.

Al., 2005)

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos, materiales y equipos usados para los análisis de las muestras son las siguientes palas, picos, espátulas, lápices, marcadores, etiquetas, planes de ubicación con los puntos de muestreo, bolsa de polietileno densa, cepillos, vaso precipitado y balanza analítica.

Los demás instrumentos, equipos y reactivos que se usaron para esta experiencia dependieron de los Laboratorios convenidos para los distintos análisis en los que se usaron pipetas, mufla, pulverizador, horno de grafito, ICP, visualizador gráfico y registrador.

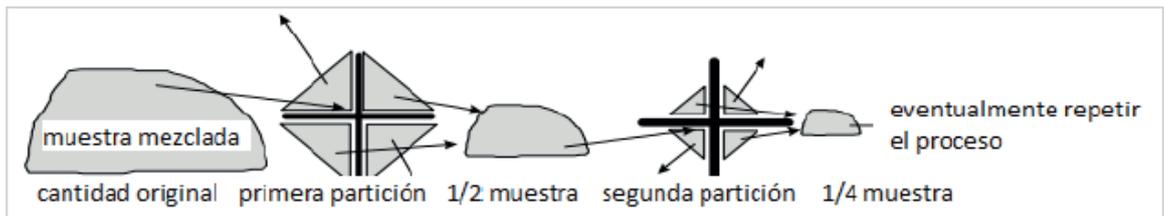
Para muestras superficiales

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas.

En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánica volátiles.

Grandes volúmenes de muestras (p.e. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición, para reducir las y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el

proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario (vea también la ilustración).



3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos han sido analizados estadísticamente utilizando el programa SPSS 25.0. Los test estadísticos llevados a cabo incluyen one-way ANOVA seguido de tests post-hoc Duncan para determinar las diferencias entre las medias de cada tratamiento asumiendo una distribución normal de las variables dependientes y de la homogeneidad de las varianzas. Cuando no fue posible asumir normalidad en la distribución de los datos se realizó un análisis de los datos con pruebas tipo Kruskal Wallis junto con pruebas post-hoc Mann-Whitney. Para los casos en los que se violó la hipótesis de homogeneidad de varianzas, se utilizaron pruebas robustas de igualdad de medias, tales como Welch o Brown-Forsythe seguidos de tests post hoc Games-Howell.

Este análisis reduce el número de variables creando componentes o factores que permiten la interpretación de un amplio número de variables. Proporciona información sobre los parámetros con mayor significación y los que explican un porcentaje más elevado de la varianza. El tipo de rotación utilizada ha sido 'Varimax', la cual proporciona una solución ortogonal.

3.7. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos fueron consolidados, procesados y analizados usando el programa Excel, mediante el uso de las herramientas para análisis de Excel y también de software de análisis estadístico donde se obtuvo el Anova, el mismo que generó tablas, que también sirvieron para contrastar la Hipótesis estadística, además de los cuadros de resultados y gráficos a fin de determinar la propuesta de la fitorremediación con *Ricinus communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Una vez planteada la hipótesis, el mismo fue validado mediante los análisis realizados, en la investigación se realizaron por consulta a bibliografías de expertos vinculados a investigaciones relacionadas con el tema de residuos sólidos, con la finalidad de garantizar que los instrumentos (Anexo E) abordaran de forma exhaustiva el problema investigado.

3.9. Orientación ética

Es importante para todo profesional conservar una visión correcta de su labor en la sociedad, especialmente como ingenieros ambientales, ya que debemos mantener una visión global e integral en la solución de problemas ambientales y buscar el equilibrio entre los distintos aspectos del desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales, atendiendo a los derechos de las generaciones futuras, en el afán de lograr un desarrollo sustentable. Los ingenieros tienen la capacidad y el deseo de obtener beneficios para la sociedad y el medio ambiente, el progreso de la gestión de los recursos y la reducción de los residuos o contaminantes. Tienen prioridad a la seguridad, la salud y el bienestar de la población y la protección del medio ambiente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Se determinó el área de estudio mediante visita in situ para la verificación del área contaminada, que se encuentra en las localidades de Quiulacocha y Champamarca. (ver anexo B)

- En la investigación se usó la guía de muestreo de suelos en marco del D.S. N° 002-2013 MINAM. Utilizando el modelo de muestreo de localización para áreas de contaminación de forma regular menor a 1000 m².
- De la zona delimitada se realizó la toma de muestras, el tipo de muestreo aplicado en esta investigación fue de tipo no probabilístico debido a que las muestras fueron seleccionadas a criterio y la accesibilidad que se tuvo para la toma de muestra. Además, como el uso de suelo fue extractivo la profundidad que especifica la guía es de 10 cm.
- Se tomó dieciséis puntos de muestreo (anexo B) de los cuales se homogeneizó, para tener una muestra representativa, se tomó un 1 kilogramo

y se procedió a rotular, para su posterior análisis en laboratorio (concentración de plomo), los resultados se muestran en las tablas N° 03 y 04, para el proceso de fitorremediación la muestra de suelo fue colocada en un saco (30 kg) y transportado para luego ser colocados en maceteros.

- Para la preparación de las unidades experimentales y tratamientos de análisis, las semillas del *Ricinus communis* se recolectaron de un vivero libre de contaminantes, se prepararon y fueron germinadas en recipientes de 1L en suelos con similares características físicas a las de la muestra. Para fines de la investigación, el periodo de germinación duró aproximadamente dos meses bajo condiciones normales de crecimiento de la planta. Durante ello se controló el riego de las plántulas cada tres días, tomando como indicador el estado de humedad del suelo. Las plántulas seleccionadas se trasplantaron a los maceteros a razón de una planta por macetero de plástico de un volumen de 5 litros, 18 cm de altura y un diámetro de 23 cm. y contenían aproximadamente 4 kg del sustrato preparado para los tratamientos: Localidad de Champamarca T1 (1163.72 mg/kg); T2 (1420.8472 mg/kg); T3 1519.7872 mg/kg; T4 (977.6372 mg/kg); T5 (1230.9572 mg/kg); T6 (835.6372 mg/kg); T6 172472 mg/kg); T8 1150.1972 mg/kg).
- Se realizaron tres repeticiones por tratamiento dando un total de 48 macetas, que fueron colocadas en un área aislada ubicada en los establecimientos de salud de Chaupimarca y Quiulacocha respectivamente. Para evitar pérdidas de las repeticiones por factores externos. La distribución de las unidades experimentales puede verse en el siguiente esquema:

Localidad: Champamarca

T0:	T1:	T2:	T3:	T4:	T5:	T6:	T7:	T8:
Blanco	1163.72	1420.84	1519.78	977.63	1230.95	835.63	1724	1150.19
Sin Pb	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Localidad: Quiulacocho

T0:	T1:	T2:	T3:	T4:	T5:	T6:	T7:	T8:
Blanco	243.90	900.14	1208.78	1311.90	1311.90	1109.29	1211.83	983.35
Sin Pb	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg

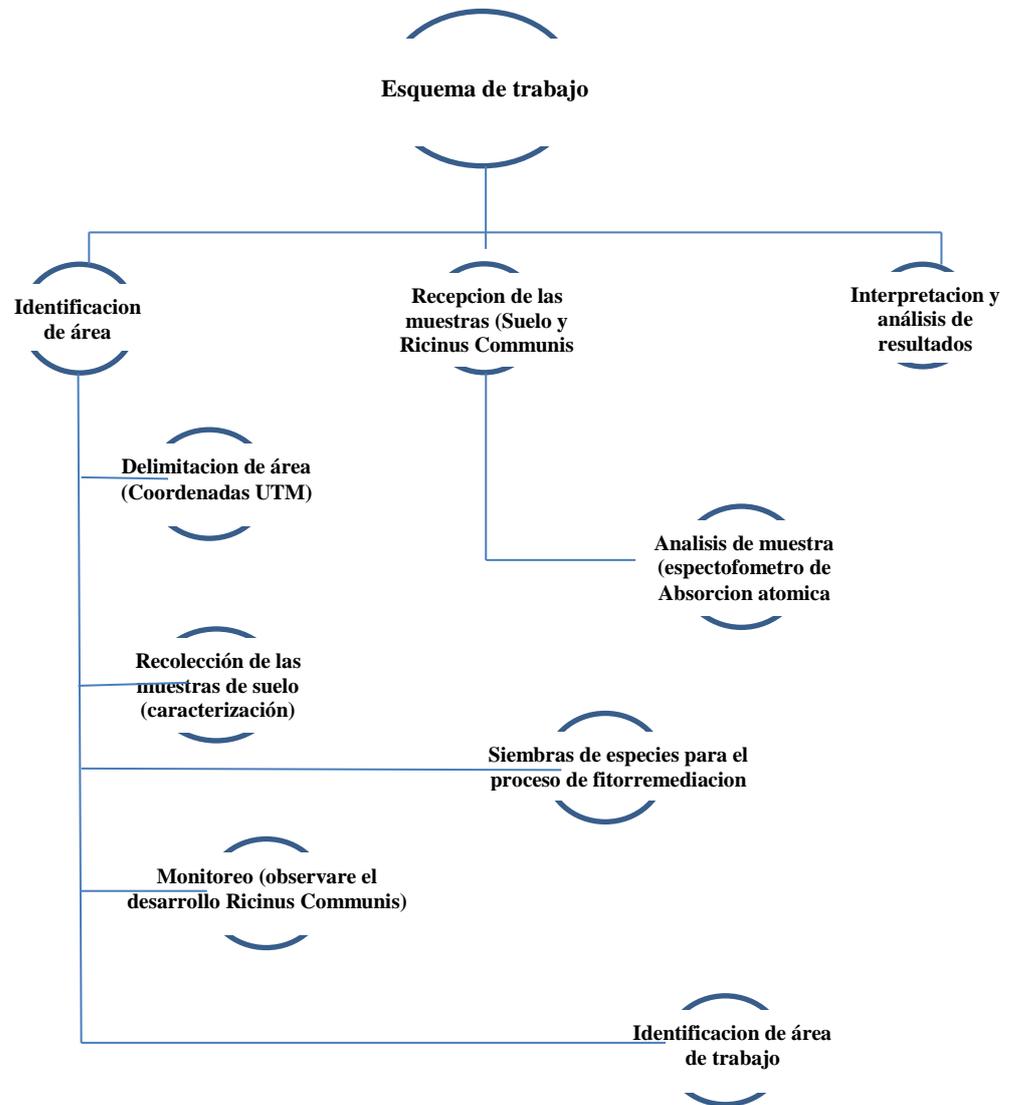
Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

El tiempo de análisis de los tratamientos empezó la primera semana del mes de abril durando aproximadamente 100 días bajo condiciones normales. Además, la cantidad de agua aplicada fue suficiente para evitar estrés hídrico; de igual manera también se evitó que durante el riego se drenara agua de las macetas con el fin de mantener constante el contenido de Pb.

Todas las plantas recolectadas al finalizar la parte experimental se sometieron al análisis morfométrico antes de ser enviadas a analizar al

laboratorio. Se observaron las siguientes características: Longitud de tallo principal, Longitud de raíz principal, Número de hojas y Peso húmedo.

Gráfico N° 01: Esquema de trabajo



Al finalizar los 100 días de tratamiento, tanto el sustrato y plantas fueron removidos cuidadosamente del macetero, procurando dejar intactos las estructuras de la planta.

El suelo rizosférico se separó de la raíz con cepilladas usando pincel y enjugándose en agua destilada para retirar el suelo remanente.

Posteriormente, se etiqueto la planta para su caracterización morfológica, luego se coloco en una bolsa ziploc y rotuló para enviar al Laboratorio convenido y así determinar el plomo en su raíz y parte aérea.

El suelo no rizosférico se dejo en el recipiente, removiendose de manera que se homogenice todo el suelo. Luego, por cada macetero se tomo un kilogramo del suelo en una bolsa ziploc, rotulandolos para su posterior analisis de contenido de plomo en un Laboratorio convenido.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resultado de contenido inicial de plomo en el suelo

Se realizo el muestreo con el objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM. Para la toma se realizo de acuerdo a la “**Guía para el muestreo de suelos**”. Los resultados de laboratorio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla N° 05: Concentración inicial de plomo en el suelo

INFORME DE ENSAYO N° 0212/07

Solicitante : **UNDAC**
Yanacancha - Pasco / CERRO DE
Dirección **PASCO**
Procedencia : **CHAMPAMARCA**
Matriz de la
Muestra : **Suelo Superficial**
 Fecha de la Muestra : 28 Marzo 2019
 Fecha de Recepción : 30 Marzo 2019
 Fecha de Ejecución
 del Ensayo : 30 Marzo - 12 Abril 2019

	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	Blanco 1	ECA para
PARAMETROS	Al costado	A 20 m.	Esquina	Patio de	Jr.	Calle	Jr.	Cruce de la	Comunidad	suelo
	de la	del	entre	la	Quiulaco	Los	Ucayal	Calle Brasil	Campesina de	DS-011-
	escuela,	Crucero	Av.	Instituci	cha		i con	con Jr.	Rancas - Zona	2017-

	Nivel Primario 34037	de la Av. Maraño n y Psje. Amazon as	Maraño n y Calle Brasil (Parade ro de Combi)	ón Educativ a, Puerta Inicial 34037		Olímpic os	Psje. Hualla ga	Pachiteo, al costado de la loza deportiva	Rural, margen izquierda del río San Juan	MINAM (Suelo Residenci al/ Parques)
Ubicación CORDENADAS UTM	N 8 818 420 E 361 502	N 8 818 334 E 361 527	N 8 818 363 E 361 419	N 8 818 355 E 361 357	N 8 818 420 E 361 502	N 8 818 334 E 361 527	N 8 818 363 E 361 419	N 8 818 355 E 361 357	N 8 819 60 E 355 114	
pH a 20 °C	7.8	7.5	7.9	7.8	7.5	7.9	7.0	7.3	4.8	N.D
Conductividad Eléctrica	255.3	255.9	475.1	274.3	198.2	323.5	2070.5	591.5	40.7	N.D

Metales Totales:										
- Arsénico (mg/kg)	139.94	106.17	154.19	88.53	108.19	129.50	130.27	77.88	73.10	50
- Cadmio(mg/kg)	12.96	15.38	15.78	10.65	10.78	12.44	20.51	11.55	2.64	10
- Cobre(mg/kg)	438.90	327.81	450.08	388.85	595.98	128.94	688.60	439.69	47.95	N.D
- Cromo (mg/kg)	15.96	9.44	9.16	18.13	25.08	7.32	17.75	23.66	12.40	0.4
- Manganeso (mg/kg)	2574.38	4570.59	4850.80	2728.96	3975.84	4591.98	3	3514.54	37.68	N.D
- Plomo (mg/kg)	1163.72	1420.84	1519.78	977.63	1230.95	835.63	1724	1150.19	87.90	140
- Zinc (mg/kg)	2831.32	4020.62	3303.26	2750.95	2687.89	3770.31	7	3065.85	68.92	N.D

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Tabla N° 06: Concentracion inicial de plomo en el suelo

INFORME DE ENSAYO N° 0213/07

Solicitante : UNDAC

Dirección : Yanacancha – Pasco / CERRO DE PASCO

Procedencia : QUIULACOCHA

Matriz de la Muestra : Suelo Superficial

Fecha de la Muestra : 29 Marzo 2019

Responsable de la Muestra : ..

Fecha de Recepción : 30 Marzo 2019

Fecha de Ejecución del Ensayo : 30 Marzo - 12 Abril 2019

PARÁMETROS	E - 1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	Blanco	ECA
	A 100 m. De la entrada a Quiulacochoa,	En el estadio, a 100 m. De la	Psje. Al costado de la Vía	Al costado de la	Costado de la Vía Quiulaco	Institución Educativa	Psje. Entre la Av.	Costado de la Vía Quilacoc	Comunidad Campesi	para suelo

	entre el Estadio y la Av. Progreso	Torre de alta Tensión	Quiulacochoa - Rancas, frente a la capilla San Sebastián	Cancha de Fútbol	cha Rancas a 100 m. De la Posta	va Integra da N° 3403, 13 de Agosto	Progres o y la Av San Sebasti án	ha - Rancas	na de Rancas - Zona Rural, margen izquierd a del río San Juan	DS-011- 2017- MINAM (Suelo Residenci al/ Parques
Ubicación CORDENADAS UTM	N 8 816 922 E 359 561	N 8 816 868 E 359 447	N 8 816 898 E 359 381	N 8 817 007 E 359 356	N 8 816 896 E 359 180	N 8 816 942 E 359 177	N 8 816 936 E 359 080	N 8 816 925 E 359 021	N 8 819 60 E 355 114	
pH a 20 °C	7.4	7.4	6.7	7.4	7.8	7.4	7.8	7.8	4.8	N.D
Conductividad Eléctrica (umhos/cm)	205.4	159.0	1009.1	142.1	313.1	127.1	186.2	142.0	40.7	N.D

Metales Totales:										
- Arsénico (mg/kg)	235.63	259.26	231.76	113.19	523.96	307.40	248.57	413.93	73.10	50
- Cadmio (mg/kg)	6.48	4.46	6.82	3.30	7.82	8.73	5.98	7.20	2.64	10
- Cobre (mg/kg)	194.71	489.53	404.93	205.98	395.82	167.89	300.96	203.87	47.95	N.D
- Cromo (mg/kg)	12.30	17.16	15.86	20.52	11.49	17.23	11.10	10.54	12.40	0.4
- Manganeso (mg/kg)	3006.64	904.13	4293.23	3366.73	4042.14	4186.32	3732.48	5224.55	37.68	N.D
- Plomo (mg/kg)	243.90	900.14	1208.78	1311.90	1198.45	1109.29	1211.83	983.35	87.90	140
- Zinc (mg/kg)	1571.52	960.05	2047.63	1782.86	1979.09	1983.73	1595.78	1923.73	68.92	N.D

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

(*) Tabla de criterios general para protección de suelos, suelos tipo B. Ministerio de medio Ambiente y Fauna, Gobierno de Québec – Canada.

Con este resultado se verifico la concentración de Pb en el suelo de las localidades de Champamarca y Quiulacocha del Distrito de Simon Bolivar, la misma que supera a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques.

- Los suelos de las áreas de estudio, presentan un pH ligeramente alcalino, en comparación con el suelo acido del punto blanco.
- Los resultados de los análisis de metales considerados como críticos, en los puntos de muestreo de las localidades de Champamarca y Quiulacocha, tienen valores muy altos en los dos muestreos del año, con respecto a los valores del punto blanco muestreado en la localidad de Rancas; a excepción del Cromo cuyos valores están muy cercanos al valor del blanco.
- En las dos localidades de Champamarca y Quiulacocha, y en las dos épocas del año, los valores del As, Cu, Mn, Pb y Zn (Tablas N° 05 y 06), superan ampliamente los valores establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques.
- En cuanto al cadmio, en la Localidad de Champamarca, los dos muestreos del año, superan ampliamente los valores del punto blanco, y los valores supera a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques.
- En el caso de la localidad de Quiulacocha, los valores de cadmio, solamente en la época de lluvias del mes de marzo superan los valores a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques; sin embargo superan ampliamente el valor del punto blanco en los dos muestreos del año.

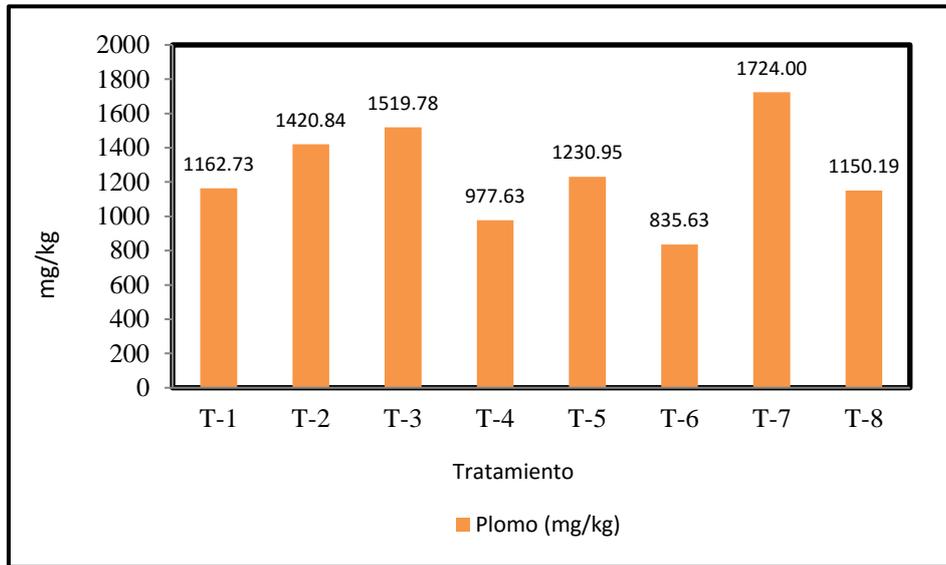
- Se advierte que existe niveles altos de los metales considerados tóxicos como el arsénico, cadmio, plomo y manganeso.
- Si bien se encontraron niveles altos de cobre y zinc, estos representan un menor riesgo debido a que su toxicidad es inferior a la de los metales tóxicos citados.

Tabla N° 07: Concentración inicial de plomo en los tratamientos-Champamarca

MUESTRA	TRATAMIENTO	UBICACIÓN	Plomo (mg/kg)
E-1	T-1	Al costado de la escuela, Nivel Primario 34037	1163.72
E-2	T-2	A 20 m. del Crucero de la Av. Marañon y Psje. Amazonas	1420.84
E-3	T-3	Psje. Al costado de la Vía Quiulacocha - Rancas, frente a la capilla San Sebastián	1519.78
E-4	T-4	Patio de la Institución Educativa, Puerta Inicial 34037	977.63
E-5	T-5	Jr. Quiulacocha	1230.95
E-6	T-6	Calle Los Olímpicos	835.63
E-7	T-7	Jr. Ucayali con Psje. Huallaga	1724.00
E-8	T-8	Cruce de la Calle Brasil con Jr. Pachiteo, al costado de la loza deportiva	1150.19

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 03: Concentración de Pb (mg/kg) en el suelo en la localidad de Champamarca



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

La tabla N° 07 muestra los valores de la concentración de Pb en el suelo de la localidad de Champamarca del Distrito de Simon Bolivar, la misma que supera a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques.

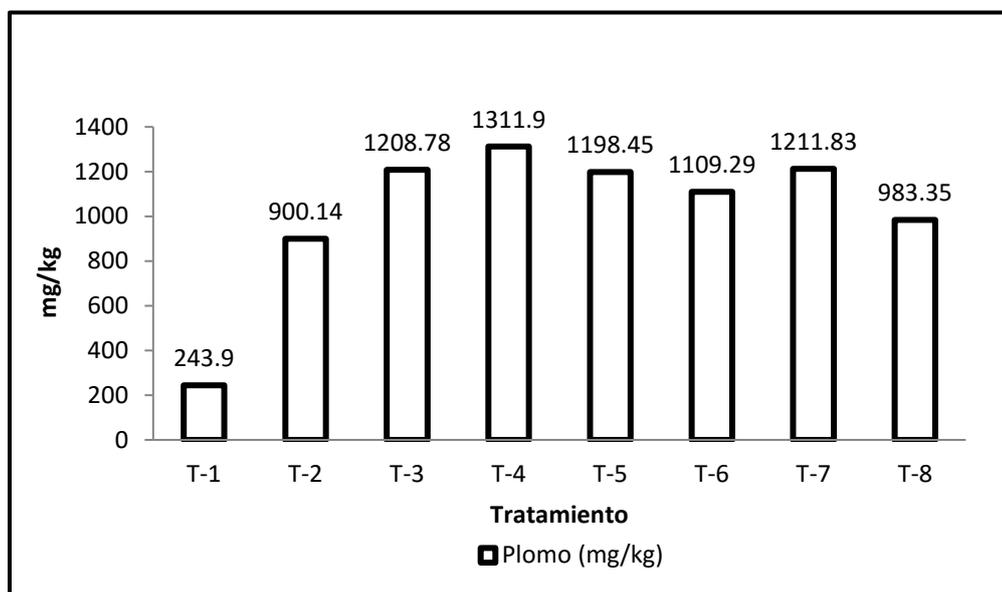
Y en el grafico N° 03, muestra que el valor de mayor concentración de plomo es la muestra E-7 que supera 12 veces lo establecido por ECA suelo.

Tabla N° 08: Concentracion inicial de plomo en los tratamientos - Quiulacocha

MUESTRA	UBICACIÓN	Plomo (mg/kg)
E-1	A 100 m. De la entrada a Quiulacocha, entre el Estadio y la Av. Progreso	243.90
E-2	A 20 m. del Crucero de la Av. Marañon y Psje. Amazonas	900.14
E-3	Esquina entre Av. Marañon y Calle Brasil (Paradero de Combi)	1208.78
E-4	Al costado de la Cancha de Fútbol	1311.90
E-5	Costado de la Vía Quiulacocha Rancas a 100 m. de la Posta	1198.45
E-6	Institución Educativa Integrada N° 3403, 13 de Agosto	1109.29
E-7	Psje. Entre la Av. Progreso y la Av San Sebastián	1211.83
E-8	Costado de la Vía Quiulacocha – Rancas	983.35

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 04: Concentración de Pb (mg/kg) en el suelo en la localidad de Quiulacocha



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

La tabla N° 08 muestra los valores de la concentración de Pb en el suelo de la localidad de Quiulacocha del Distrito de Simón Bolívar, la misma que supera a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques.

El gráfico N° 04, muestra que el valor de mayor concentración de plomo es la muestra E-4 que supera 9 veces lo establecido por ECA suelo.

4.2.2. Resultado de evaluación de la tolerancia del ricinus communis a diferentes concentraciones de plomo (tratamientos)

Al inicio de la parte experimental se busca evaluar la tolerancia del Ricinus communis frente a las diferentes concentraciones de plomo en los suelos.

Sin embargo a dos semanas de empezar la parte experimental, las plantas correspondientes a los tratamientos: Localidad de Champamarca T1 (1163.72 mg/kg de Pb); T2 (1420.84 mg/kg de Pb); T3 (1519.78 mg/kg de Pb); T4 (977.63

mg/kg de Pb); T5 (1230.95 mg/kg de Pb); T7 (1724 mg/kg de Pb); T8 (1150.19 mg/kg de Pb). Localidad de Quiulacocha: T3 (1208.78 mg/kg de Pb); T4 (1311.90 mg/kg de Pb); T5 (1198.45 mg/kg de Pb); T6 (1109.29 mg/kg de Pb); T7 (1211.83 mg/kg de Pb); T8 (983.35 mg/kg de Pb), murieron incluyendo las repeticiones.

4.2.3. Resultados de la caracterización morfométrica

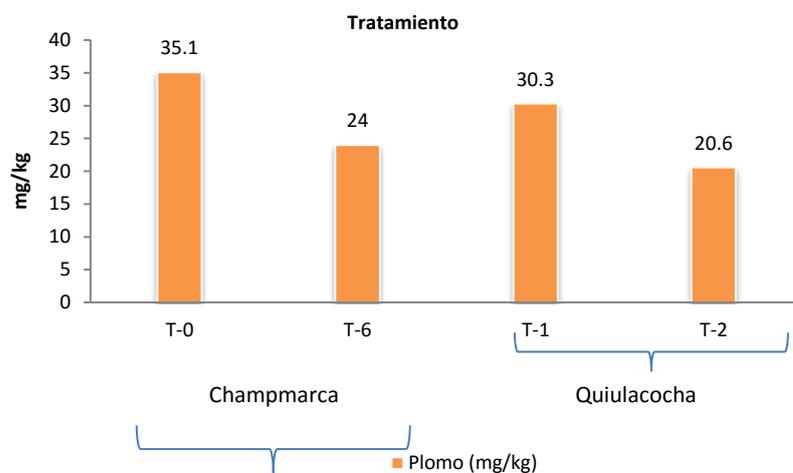
- Longitud de tallo principal

Tabla N° 09: Promedios de longitud de tallo principal de cada tratamiento

Tratamientos	Promedios de longitud detalle principal (cm)
Localidad de Champamarca	
T0: Blanco	35.10
T6: 835.63 mg/kg de Pb	24.00
Localidad de Quiulacocha	
T1: 243.90 mg/kg de Pb	30.30
T2: 900.14 mg/kg de Pb	20.60

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 05: Promedio de longitud de tallo (cm)



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

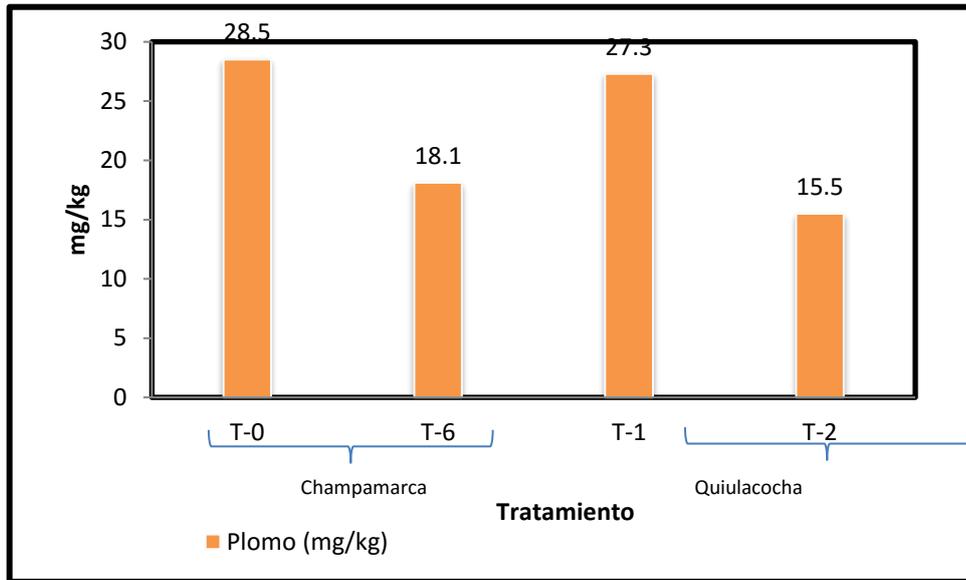
➤ Longitud de raíz principal

Tabla N° 10: Promedios de tamaño de raíz principal de cada tratamiento

Tratamientos	Promedios de raíz principal (cm)
Localidad de Champamarca	
T0: Blanco	28.50
T6: 835.63 mg/kg de Pb	18.10
Localidad de Quiulacocha	
T1: 243.90 mg/kg de Pb	27.30
T2: 900.14 mg/kg de Pb	15.50

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 06: Promedio de tamaño de raíz (cm)



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

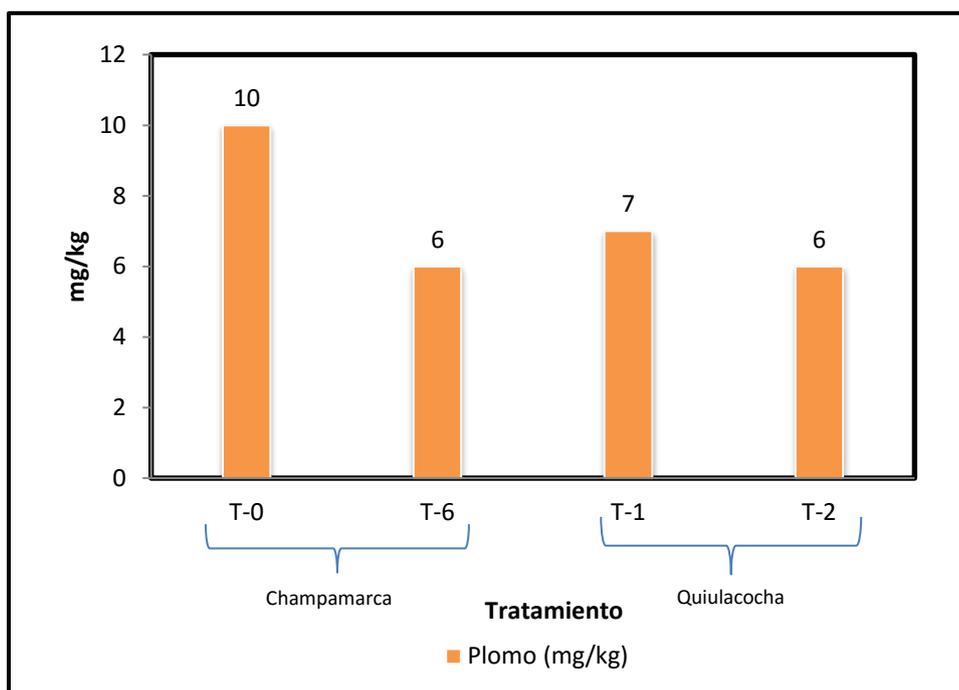
➤ Numero de hojas

Tabla N° 11: Promedios de número de hojas de cada tratamiento

Tratamientos	Promedios de raíz principal (cm)
Localidad de Champamarca	
T0: Blanco	10
T6: 835.63 mg/kg de Pb	6
Localidad de Quiulacocha	
T1: 243.90 mg/kg de Pb	7
T2: 900.14 mg/kg de Pb	6

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 07: Promedio de tamaño de raíz (cm)



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

4.2.4. Resultado de concentración de plomo en los suelos y % de remoción al resultado

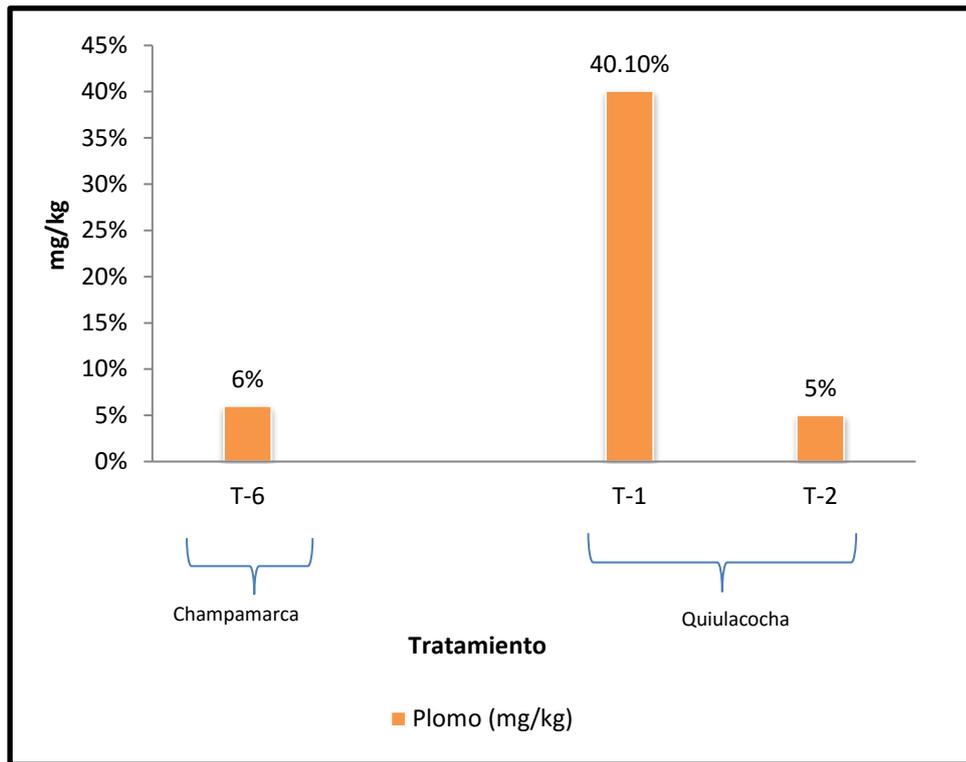
Se obtuvo lo siguiente:

Tabla N° 12: Concentracion final promedio de plomo en el suelo y % de remoción

Tratamientos (mg/kg)	Promedios de CCPB Suelo (mg/kg)	Promedios de % de Remoción
Localidad de Champamarca		
T6: 835.63 mg/kg de Pb	785.49	6%
Localidad de Quiulacocha		
T1: 243.90 mg/kg de Pb	143.901	40.10%
T2: 900.14 mg/kg de Pb	855.133	5%

Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

Gráfico N° 08: Porcentaje final de de plomo en el suelo



Fuente: Laboratorio EQUAS S.A.

De los resultados expuestos, en la Tabla N° 10, se observa el promedio de concentración de plomo final en los suelos después de la Fitorremediación con el *Ricinus communis*. Además el cálculo promedio de porcentaje de Remoción (Gráfico N° 08) en donde se distingue que el mayor y menor porcentaje de remoción se da en el T2: y en el T6 respectivamente.

En efecto, se debe considerar que el porcentaje de remoción viene a ser el resultado de lo absorbido por la planta y algún agente externo.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Analisis de varianza (ANOVA)

ANOVA de un solo factor: Concentración de plomo (mg/kg) vs Tratamiento

Tabla N 13: Planteamiento de Hipótesis

Hipétesis Nula	Todas las medias son iguales
Hipétesis Alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 14: Informacion de factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	T1, T2 T6	243.90, 900.14, 835.63

Fuente: Elaboracion propia

ANOVA^a

		Suma de	Media			
Modelo		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2616,255	1	2616,255	752,946	,000 ^b
	Residuo	,035	1	,035		
	Total	2616,290	2			

a. Variable dependiente: V1

b. Predictores: (Constante), V2

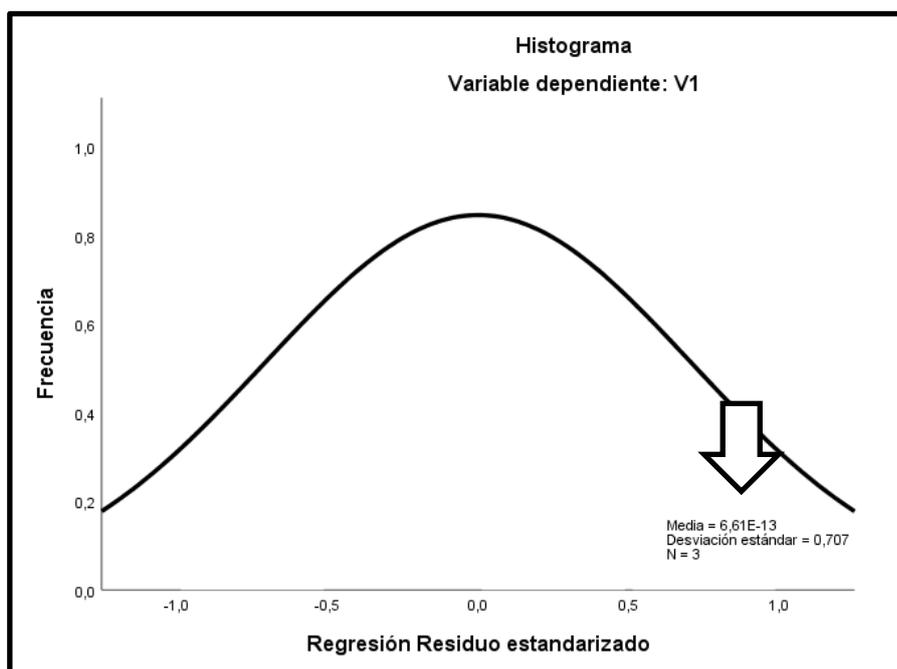
Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio					
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F		Cambio en F		Sig. Durbin-Watson
						en F	gl1	gl2	en F	
1	1,000 ^a	1,000	1,000	,18644	1,000	752,946	1	1	,000	2,339

a. Predictores: (Constante), V2

b. Variable dependiente: V1

Gráfico N° 09: Histograma



Fuente: Elaboracion propia

Con respecto al análisis estadístico, se presentan los resultados del ANOVA con las fuentes de variabilidad de remoción de la concentración de plomo por *Ricinus Communis* en el suelo, se observa que el valor de p (0,00) es menor que $\alpha = 0,05$ determinándose que existen diferencias significativas en las concentraciones de plomo en el suelo por clase diamétrica después de la fitorremediación, indicando que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula (Resumen de prueba de hipótesis). Así mismo los resultados de la comparación de medias aplicando la prueba estadística de Durbin Watson, indican que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos estudiados.

4.4. Discusión de Resultados

Los resultados de análisis de suelo de 16 puntos de muestreo, de las localidades de Champamarca y Quiulacocha (tablas N° 04 y 05), muestran que,

los niveles de concentración de Pb mg/kg sobrepasan a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques, sobrepasa al valor indicado de 140 mg/kg de plomo total demostrando que es un suelo no apto su uso.

De los resultados obtenidos se verificó que la planta no tolera los tratamientos ubicadas en las localidades de: Champamarca T1 (1163.72 mg/kg de Pb); T2 (1420.84 mg/kg de Pb); T3 (1519.78 mg/kg de Pb); T4 (977.63 mg/kg de Pb); T5 (1230.95 mg/kg de Pb); T7 (1724 mg/kg de Pb); T8 (1150.19 mg/kg de Pb) y Quiulacocha: T3 (1208.78 mg/kg de Pb); T4 (1311.90 mg/kg de Pb); T5 (1198.45 mg/kg de Pb); T6 (1109.29 mg/kg de Pb); T7 (1211.83 mg/kg de Pb); T8 (983.35 mg/kg de Pb); debido a que ninguno de los tratamientos mencionados, viven más de dos semanas después del trasplante al sustrato contaminado.

De los resultados obtenidos de la caracterización morfológica, se deduce que la mayor cantidad de peso húmedo, tamaño de la raíz principal y tallo principal se da en la tendencia de Blanco > Tratamiento 0. Esto es probablemente a que la planta tiene una mejor formación en sustratos sin contaminación.

En cuanto a la tabla N° 09 (promedios de número de hojas de cada tratamiento) se observa que predomina el Blanco > (Tratamiento 1 = Tratamiento 2) > Tratamiento 6.

También, se observa que la planta absorbió más plomo en el tratamiento con menor cantidad del contaminante de plomo (tratamiento de 243.90 mg/kg). Por otro lado, la menor absorción de plomo se dio en el tratamiento 2 de 900 mg/kg. (Véase la tabla, N° 11).

Del análisis estadístico que se llevo a cabo usando la absorcion total de los tratamientos 1, 2 y 6, que analizando el método ANOVA demuestra que hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos de los tratamientos de 243.90 mg/kg. 835.63 mg/kg y 900.14 mg/kg, esto se demuestra debido a que el factor “P” es menor a 0.05 (nuestro resultado fue 0.00). Posteriormente, se procedió a realizar la prueba de Durbin-Watson para una confianza de 95% obteniendo como resultado que el tratamiento de 243.90 mg/kg de Pb es mejor que los tratamientos de 835.63 mg/kg y 900.14 mg/kg de Pb.

La fitorremediación representa una tecnología alternativa para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. Es una tecnología de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada. Puede implementarse in situ para remediar grandes extensiones de áreas contaminadas o para tratar grandes volúmenes de aguas diluidas, es decir, con bajas concentraciones de contaminantes. En general, es una tecnología barata, simple, sustentable, compatible con el ambiente y estéticamente más agradable que las tecnologías convencionales. Ofrece más ventajas que desventajas y, por lo mismo, en los países desarrollados ha dejado de ser una opción potencial de tratamiento para convertirse en una tecnología aplicable, eficiente para remover, transformar o degradar diversos tipos de contaminantes.

Los resultados de la investigación obtenida es similar a la de Meza Nancy 2014, investigación de la Fitorremediación de plomo (Pb) y arsénico (As) con higuierilla (*Ricinus communis*) en asociación con micorrizas se concluyó que a 120 días de tratamiento la higuierilla tiene la capacidad de absorber plomo en suelos contaminados y acumularlo particularmente en las raíces, en el cual presento una concentración media de 280.78 mg/kg y una concentración media

de 25.85 mg/kg en la parte aérea, y el índice de bioconcentración supero la unidad en algunos tratamientos. Además, *Ricinus Communis* tiene capacidad para acumular concentraciones de metales pesados principalmente en la raíz y en menor proporción en hoja y tallos, por lo tanto, tiene potencial como cultivo para fitoestabilización en suelos contaminados. Otro aspecto a mencionar es que la adición de micorrizas a los suelos no afecto significativamente sobre la absorción de Pb y As.

A si mismo con el Estudio del desarrollo de la especie *Ricinus communis* cultivada en residuos mineros en condiciones de invernadero, a 100 días de tratamiento, con el sustrato preparado de 50% suelo - 50% jales (496 mg/kg de Pb), obtuvo como resultados promedios que la planta absorbio 25.9 mg/kg de Pb en la raíz y en la parte aérea 9.8 mg/kg de Pb y en el sustrato preparado de 30% suelo - 70% jales (505 mg/kg de Pb) absorbió un promedio de 40.4 mg/kg de Pb en la raíz y en la parte aérea 9.0 mg/kg de Pb concluyendo que el *Ricinus communis* es tolerante a altas concentraciones de metales y además la consideran como una planta hiperacumuladora de plomo (Castillo Alberto, 2015).

Además con la investigación de la Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados concluye que a 70 días de estudio para un tratamiento de 500 mg/kg y 1000 mg/kg de Pb en el suelo la absorción total en el *Ricinus communis* fue de 2.78 mg/kg de Pb y 6.8 mg/kg de Pb respectivamente. Además, el porcentaje de plomo acumulado en la parte aérea fue mayor en el tratamiento de menor concentración (500 mg/kg de Pb) y también que ninguna de las seis especies evaluadas puede considerarse como especie hiperacumuladora (Rodríguez et al, 2006). Por tanto contrastando con nuestra investigación se evidenció que hubo similitud respecto a la acumulación de Pb.

CONCLUSIONES

- Al finalizar la investigación y de acuerdo al análisis estadístico planteado se concluye que el *Ricinus communis* es un fitorremediador de suelos con contaminación de plomo entre 243.90 mg/kg y 835.63 mg/kg, proponiéndolo para casos de suelos contaminados con plomo que requieran de un tratamiento de fitorremediación tipo fitoestabilizador, es decir que la planta concentra mayor parte del contaminante en la raíz y coloque a la parte aérea la menor concentración posible.
- También, se identificó que la muestra obtenida en la localidad de Champamarca contiene 243.90 mg/kg de Pb, superando en 57% a lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques. Para fines de una evaluación de la tolerancia al Pb se sometió el *Ricinus communis* al suelo inicial de la localidad de Champamarca ($T_1 = 243.90$ mg/kg) y a suelos con concentraciones de $T_6 = 835.63$ mg/kg y $T_2 = 900.14$, donde se concluye que el *Ricinus communis* no tolera concentraciones superiores a 835.63 mg/kg de Pb. Sin embargo al finalizar la parte experimental, el suelo disminuyó su concentración final por debajo de lo permitido en el Estándar de Calidad del Suelo para uso para suelos que presentan un concentración de plomo menor a 240 mg/kg; Suelo Residencial y/o Parques. En efecto, se debe considerar que el uso de una tecnología de remediación de suelos no necesariamente tiene que reducir el contaminante a cero sino disminuir la concentración a niveles que no representen un riesgo mayor a la salud humana y al ambiente.
- Según los resultados obtenidos se recomiendan la fitorremediación con el *Ricinus communis* por su adaptabilidad y condiciones atípicas de crecimiento; pero, en el proceso experimental se demostró que la especie necesita de cuidados especiales debido a su fragilidad al germinar y requerimiento hídrico constante.

RECOMENDACIONES

- La fitorremediación con *Ricinus communis* podría resultar beneficiosa para la población de la localidad de Champamarca debido a que disminuyó la concentración de plomo del Tratamiento 1 (243.90 mg/kg de Pb) a niveles por debajo del Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de Uso Residencial y/o Parques, pero no es una solución para erradicar la contaminación del suelo en el área, esto debido a que mientras las empresas sigan emanando plomo al medio ambiente, la contaminación continuara, por eso se recomienda que las autoridades competentes mejoren en su fiscalización y sean más estrictas en el control y sancionar a las empresas involucradas en la contaminación.
- Realizar pruebas con otros metales, a fin de verificar si el *Ricinus Communis* puede fitorremediar otros contaminantes.
- Hacer un análisis de la biodisponibilidad de los metales en el sustrato, así se tendría un control más objetivo de la cantidad utilizable del metal que pueda absorber una planta.
- Para estudios de fitorremediación de forma experimental es recomendable crear un mecanismo de control de lixiviados y poder cuantificar la fuga del contaminante, así tener resultados más exactos.
- Ampliar los estudios relacionados a plantas fitoestabilizadoras; dándose una utilidad de los extremos elevados de la planta. Por ejemplo, las semillas del *Ricinus communis* que estén libres de contaminante pueden emplearse para extraer el aceite de ricino y generar ingresos económicos; lográndose crear un tratamiento por fitorremediación sustentable.

BIBLIOGRAFIA

- AUDET, P. AND C. CHAREST. “Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective”. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Qubmed/17045709>. Consultada el 30 de Mayo del 2019.
- Atul Bhargava, Francisco F. Carmona. Meenakshi Bhargava y Shilpi Srivastava. Approaches for enhanced phyto extraction of heavy metals. Journal of Environmental Management 105, 103-120. 2012.
- BLANCO FABIO A., SALAS EDUARDO A., Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica, disponible en:
http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_055.pdf, consultada el 24 de abril del 2019.
- CARRILLO, LEONOR. MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA, Universidad Nacional de Salta, 2003.
- CASTILLO ORTIZ. Alberto. Estudio del desarrollo de la especie *Ricinus communis* cultivada en residuos mineros en condiciones de invernadero. Tesis de maestría. México D.F. Instituto Politécnico Nacional. 2015.
- COLIN CRUZ A & JIMENEZ MOLEON, Principios básicos de la contaminación ambiental, Mdc. Química Ambiental. P 61-94 En: Soles Segura LM & López Arriaga JA (ed) México. 2003.
- EL COMERCIO (2016_). Callao: niveles de plomo se multiplican por seis desde el 2012. Disponible en: <https://elcomercio.pe/lima/callao-niveles-plomo-multiplican-seis--2012-148172>. consultada el 25 de enero del 2019.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para suelo. 2017.

- GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM. 2014.
- MAQUEDA GALVEZ, Alma Patricia. Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados - Departamento de Química y Biología. Tesis Maestría. México. Biotecnología. Universidad de las Américas Puebla. 2003.
- MEZA TREVINO, Nancy Yadira. Fitorremediación de plomo (Pb) y arsénico (As) con Higuera (Ricinus communis) en asociación con micorrizas. Tesis de maestría. Bermejillo, Durango, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 2014.
- RODRIGUEZ ORTIS. Juan Carlos y Otros. Revista Fitotecnia Mexicana - capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. Vol. 29: 2 a 8. 2006.
- THIEMAN, W., PALLADINO, M. introducción a la Biotecnología. Madrid. Editorial Pearson. Segunda Edición. 2010.

ANEXOS

- Anexo A: Matriz de consistencia
- Anexo B: Ubicación de puntos de muestreo en la localidad de Quiulacocha y Champamarca
- Anexo C: Instrumento de Recoleccion de datos
- Anexo D: Guía para el muestreo de suelos
- Anexo E: Patrones de muestreo
- Anexo F: Ficha de observación

Anexo A

Matriz de Consistencia

“FITORREMEDIACIÓN CON RICINUS COMMUNIS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, 2019”

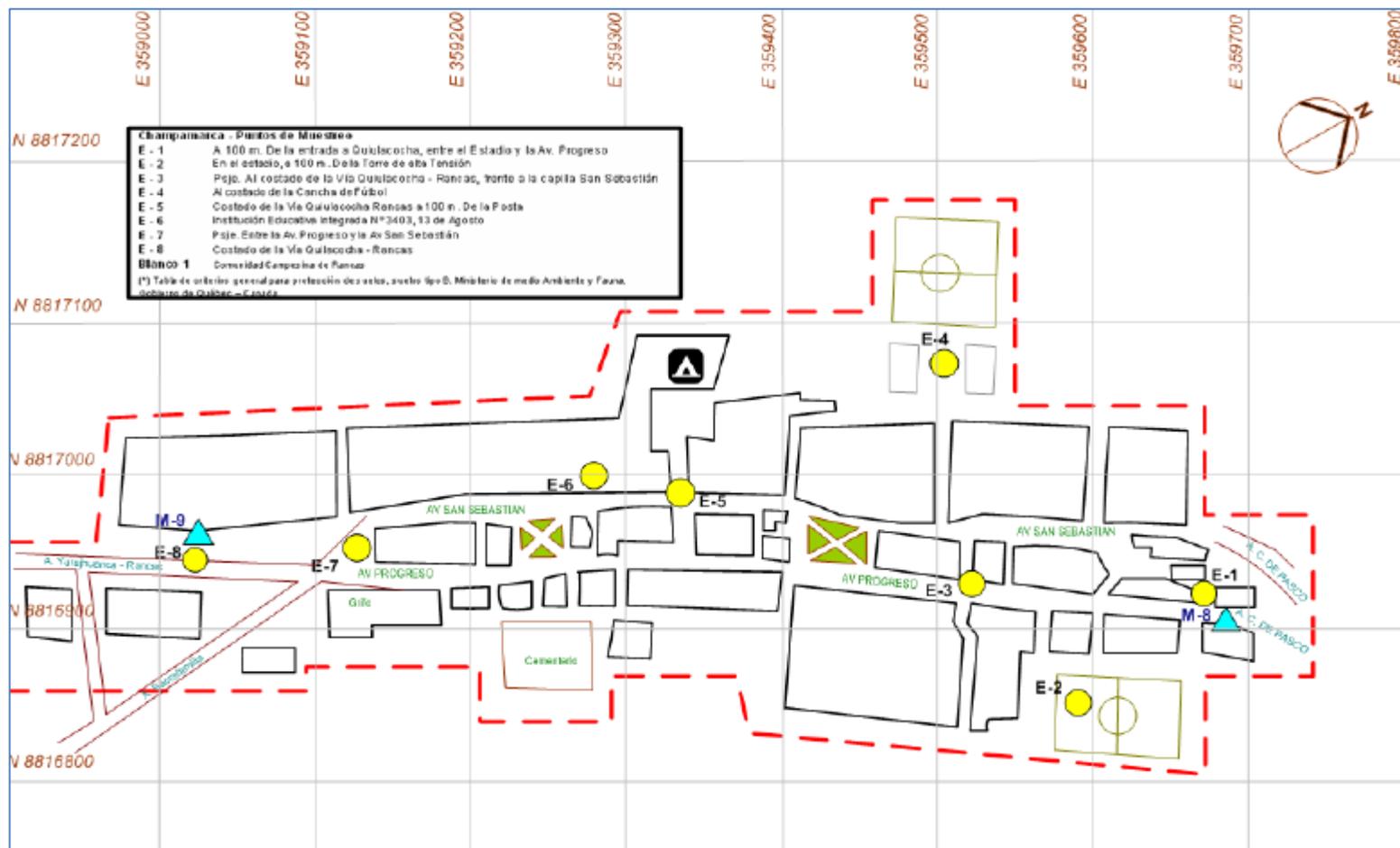
TEMA	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	ITEM
FITORREMEDIACIÓN CON <i>RICINUS COMMUNIS</i> PARA ELTRATAMIENTO DE	<p>P.G.</p> <p>¿La Fitorremediación de suelos con <i>Ricinus communis</i> sería un método adecuado para tratar los suelos contaminados con plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco?</p>	<p>OG.</p> <p>Proponer la Fitorremediación con <i>Ricinus communis</i> para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la Ciudad de Cerro de Pasco</p>	<p>2.5.1 Variable D</p> <p>Fitorremediación con <i>Ricinus communis</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tolerancia de la planta. - Extracción del plomo. - Factor de translocación. - Factor de bioconcentración. 	Experimental

<p>SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, 2019</p>	<p>P. E.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el contenido inicial de plomo en el suelo de la zona de estudio? • ¿En qué consiste la caracterización fisicoquímica inicial del suelo? • ¿Cómo evaluar la tolerancia al plomo del <i>Ricinus communis</i> a diferentes concentraciones de plomo? 	<p>OE.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el contenido inicial de plomo en el suelo. • Realizar la caracterización fisicoquímica inicial del suelo. • Evaluar la tolerancia al plomo del <i>Ricinus communis</i> a diferentes concentraciones de plomo. • Determinar el Factor de Translocación del <i>Ricinus communis</i> 	<p>Variable D:</p> <p>Para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración de plomo. - pH - Textura - Porcentaje de humedad. 	<p>Experimental</p>
--	--	---	--	--	---------------------

	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el Factor de Traslocación del <i>Ricinus communis</i>? • ¿Cuál es el Factor de Bioconcentración del <i>Ricinus communis</i>? • ¿Cómo determinar la extracción de plomo del <i>Ricinus communis</i>? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el Factor de Bioconcentración del <i>Ricinus communis</i>. • Determinar la extracción de plomo del <i>Ricinus communis</i>. 			
--	--	---	--	--	--

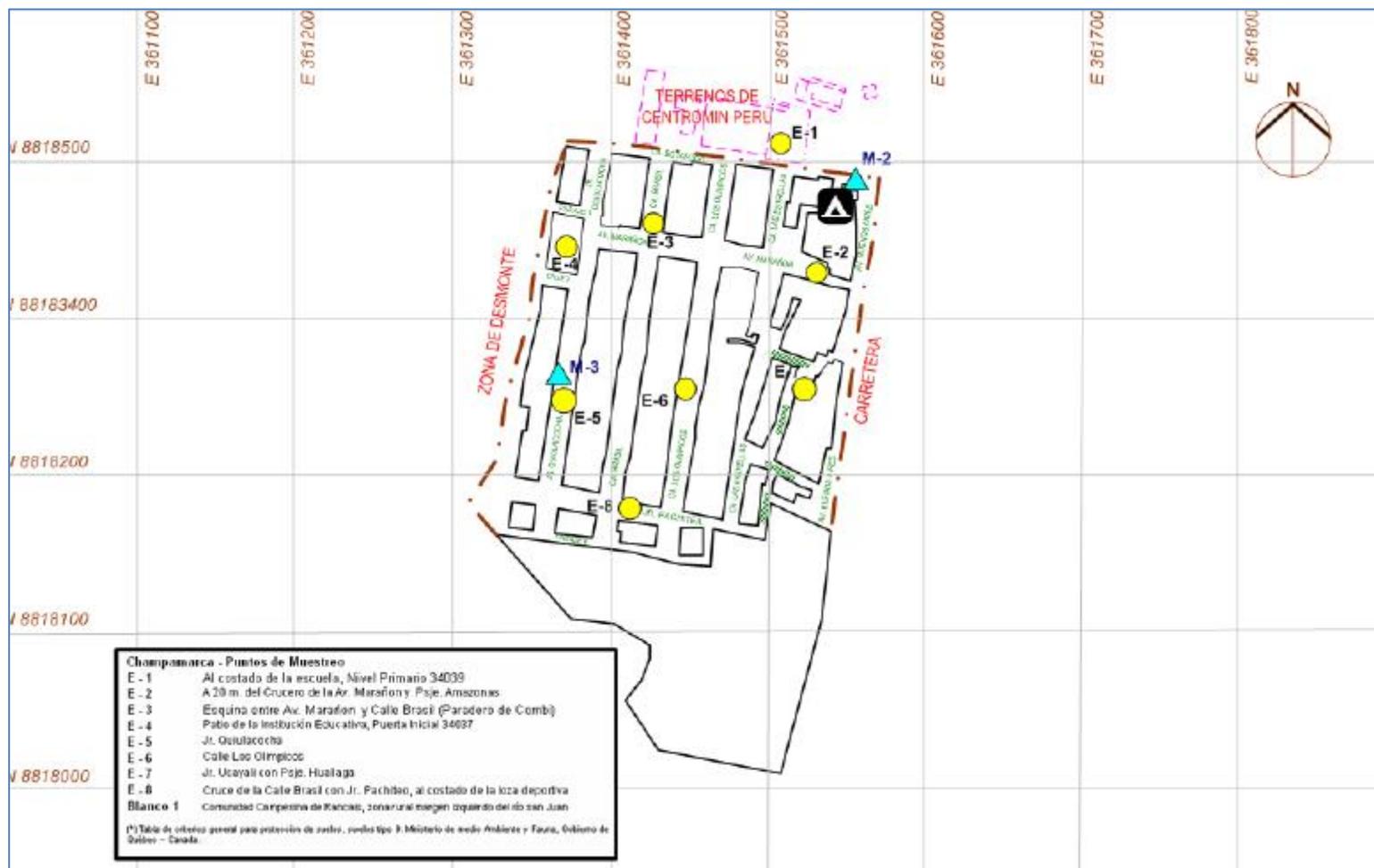
Fuente: Elaboración propia

Anexo B1: Ubicación de puntos de muestreo en la localidad de Quiulacocho



Fuente Elaboración Propia

Anexo B2: Ubicación de puntos de muestreo en la localidad de Champamarca



Fuente: Elaboración propia

Anexo C: Instrumento de Recoleccion de datos

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes instrumentos de recolección de datos:

Los instrumentos, materiales y equipos usados para los análisis de las muestras son las siguientes: palas, picos, espátulas, lápices, marcadores, etiquetas, planes de ubicación con los puntos de muestreo, bolsa de polietileno densa, cepillos, vaso precipitado y balanza analítica.

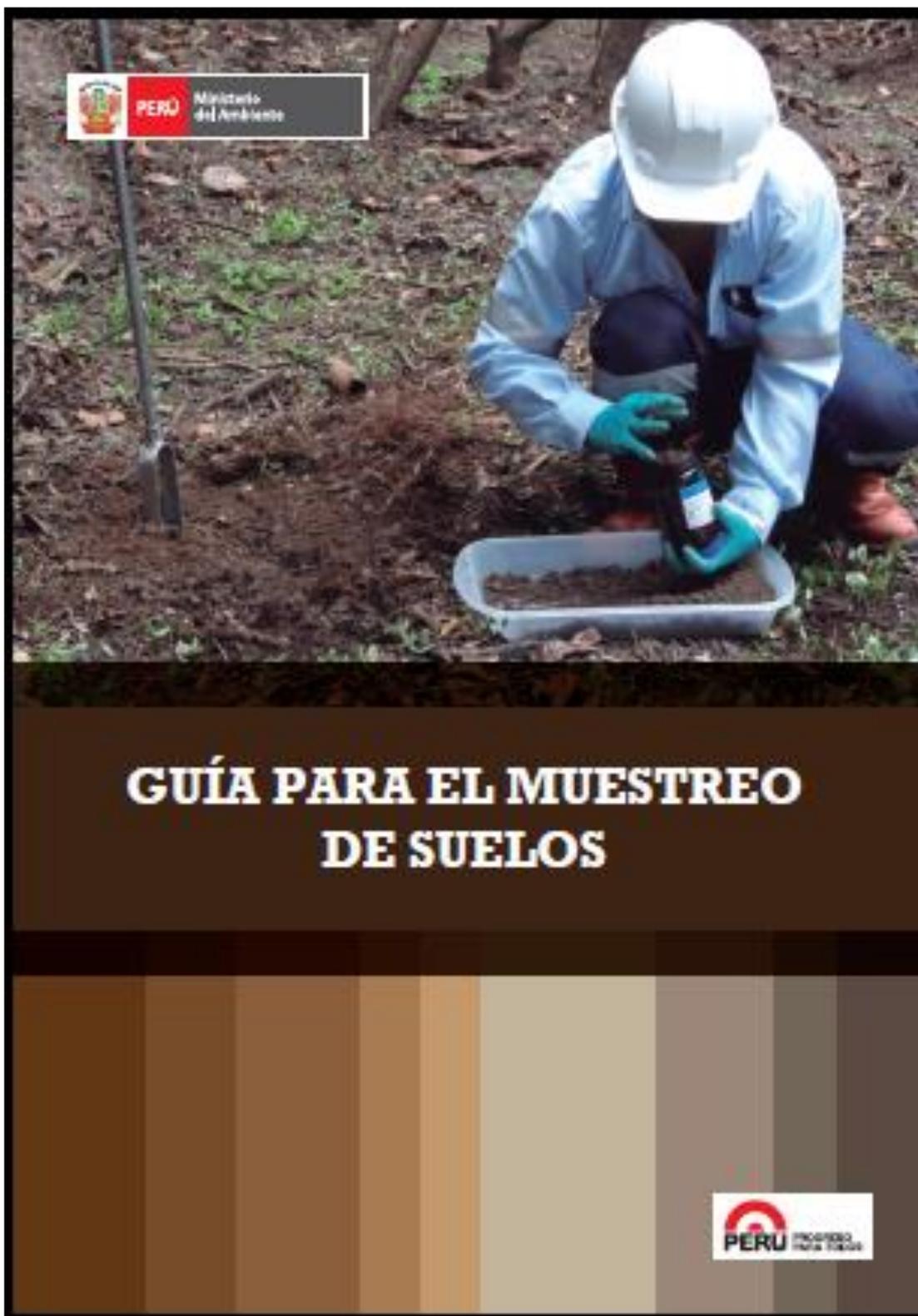
Los demás instrumentos, equipos y reactivos que se usaron para esta experiencia dependieron de los Laboratorios convenidos para los distintos análisis en los que se usaron pipetas, mufla, pulverizador, horno de grafito, ICP, visualizador gráfico y registrador.

También aparatos de medición – multiparámetro, cámara fotográfica, computadora laptop, cadena de custodia, cuaderno de campo y apuntes.

Asimismo, se realizó la revisión bibliográfica de libros, Guías, revistas y trabajos de investigación nacionales e internacionales referentes al trabajo de investigación que se realizaron en diferentes épocas y contextos.

Además de formatos: Reporte de parámetros de campo y formato: Registro de crecimiento de especies vegetales.

Anexo D



Anexo E

Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados

Establece los pasos necesarios para el desarrollo de acciones que conduzcan a la determinación de los suelos contaminados en una secuencia que oriente hacia el logro de los objetivos trazados.

Muestreo dirigido o a juicio de expertos

Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.

Muestreo estadístico

Muestreo realizado de acuerdo modelos matemáticos, y se usa para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia y distribución de contaminantes en el suelo. El muestreo se realiza en toda el área posiblemente contaminada pudiendo hacerse de manera aleatoria estratificada y sistemática.

- a) **Sistemático:** también conocido como muestreo regular; en este tipo se reduce la variabilidad de las muestras debido a que su levantamiento sigue un patrón geométrico específico (retícula), tomando las muestras a intervalos regulares y cubren de forma uniforme el sitio a muestrear (Fig. 1 y Fig. 2). Es conveniente para estimar con precisión las zonas críticas, patrones especiales en dos o tres dimensiones y tendencias, calcular volúmenes de material contaminado y no requiere de conocimiento previo del sitio.

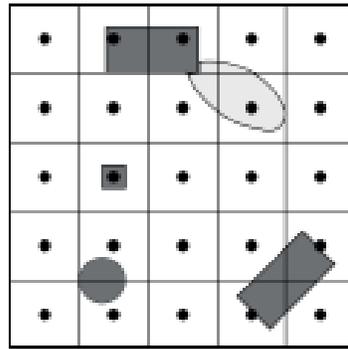


Fig. 1: Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo utilizando una malla cuadrada. Las áreas demarcadas son aquellas consideradas sospechosas de ser contaminadas.

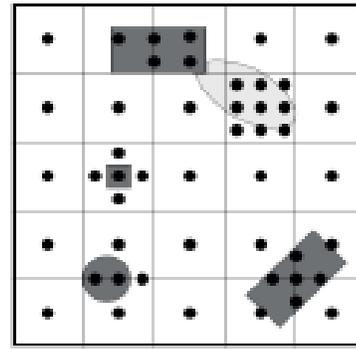


Fig. 2: Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo y densificación de puntos previamente identificados como áreas sospechosas de contaminación (áreas sombreadas).

- b) **Aleatorio estratificado:** cuando se dispone de información previa y el sitio presenta características geográficas diferenciadas, es necesario estratificar o subdividir en subgrupos las muestras que tienen homogeneidad en el terreno y en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio simple de manera independiente.

- c) **Aleatorio simple:** recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se enumeran en un plano cartesiano (X_i, Y_j) . La selección de éstos se realiza por medio de una tabla de números aleatorios lo cual garantiza que cada punto tenga la misma probabilidad de ser seleccionado. Los patrones de muestreo se refieren a las diferentes formas en las que se pueden distribuir los puntos de muestreo

en el plano horizontal, para cada sitio en particular, conociendo sus características y el motivo del muestreo. En este anexo se refieren tres tipos de patrones de muestreo: con distribución uniforme, con distribución aleatoria y con distribución heterogénea.

Patrones de muestreo con distribución uniforme:

- Rejillas regulares
- Rejillas triangulares
- Rejillas circulares
- Sobre una línea
- Diagonales múltiples

Patrones de muestreo con distribución aleatoria (éstos son referidos en muestreos estadísticos):

- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

Patrones de muestreo con distribución heterogénea:

- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, E o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

A continuación se describen todos los patrones hasta ahora reportados, con la finalidad de que el lector pueda contar con elementos para decidir o rechazar su aplicación, según los objetivos del muestreo.

Rejillas regulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto en cada celda, ya sea al centro o en las intersecciones, pero en todas las celdas los puntos deben quedar en el mismo lugar.

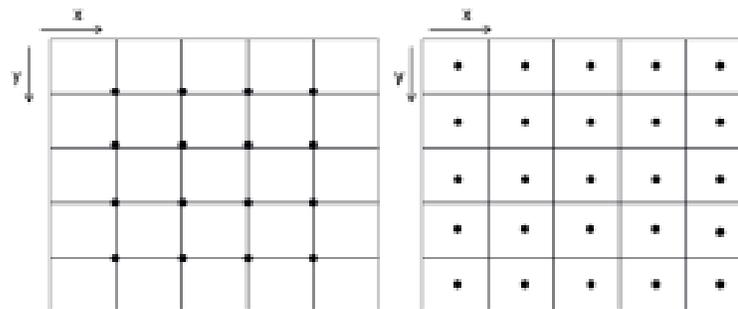


Fig. 3: Rejillas regulares

Rejillas triangulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón se marca un punto en el centro de cada celda, éste queda rodeado por 3 puntos que se encuentran a la misma distancia dx , entonces se puede calcular el radio no muestreado ($r = (dx/3) \sqrt{3}$), así como el área circular no muestreada ($A = \pi r^2 = \pi dx^2/3$).

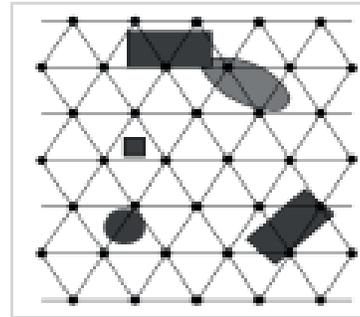


Fig. 4: Rejillas triangulares

Rejilla circular. Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se trazan líneas rectas considerando los 8 puntos cardinales principales y se ubican los puntos de muestreo en las intersecciones. Se espera que con esta rejilla las mayores concentraciones de contaminantes se ubiquen en el centro.

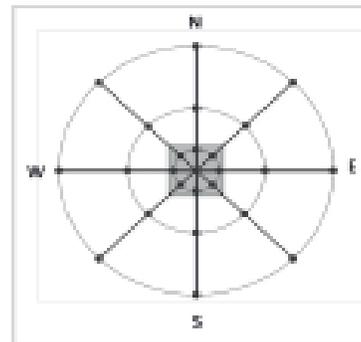


Fig. 5: Rejilla circular

Sobre una línea. En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia "x" y en líneas auxiliares paralelas se incluyen puntos traslapados, separados a una distancia "x", o "2x". Los puntos de las líneas auxiliares pueden estar saltados. La separación de las líneas auxiliares está en función del detalle que se pretenda para el estudio.

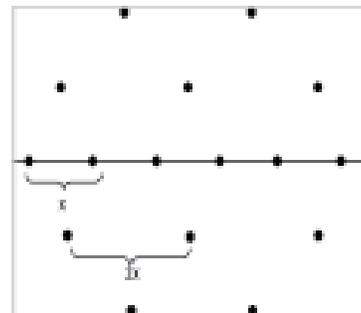


Fig. 6: Sobre una línea

Diagonales múltiples. En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor detalle sea requerido, las distancias serán más cortas.



Fig. 6: Diagonales múltiples

Aleatorio. Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica. Pueden quedar manchas de contaminación en los espacios vacíos y pasar desapercibidas durante el muestreo.

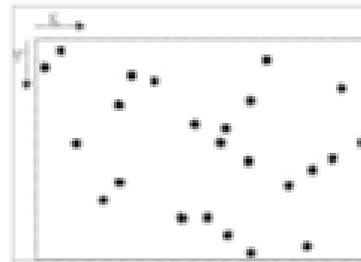


Fig. 7: Aleatorio .

Aleatorio sobre rejilla regular. En inglés se conoce como "estratified". Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios o con programas de cómputo; el plano se divide en zonas. Este patrón tiene la desventaja de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.

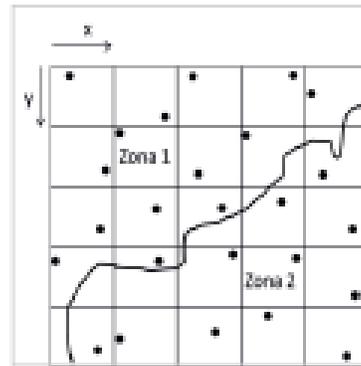


Fig. 8: Aleatorio sobre rejilla regular -

Aleatorio desalineado sobre rejilla regular. Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y", o viceversa. El patrón tiene las mismas desventajas que el aleatorio sobre rejilla regular, en el sentido de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.

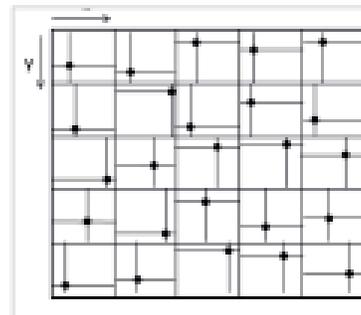


Fig. 9: Aleatorio desalineado sobre rejilla regular.

Diagonal simple. Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.

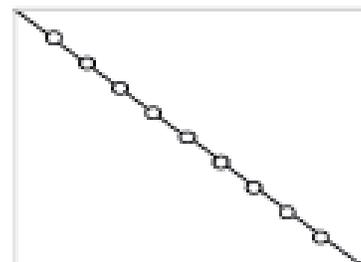


Fig. 10: Diagonal simple

Diagonales cruzadas rotantes. Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda para superficies en forma cuadrada, sobre el plano se marcan dos líneas diagonales perpendiculares a partir de los vértices. Sobre cada línea se marcan los puntos de muestreo como se muestra en la siguiente figura, en los muestreos subsecuentes se hace una rotación de las diagonales de 45°, en el sentido de las manecillas del reloj, manteniendo fijo el punto central. De esta forma se pueden hacer 8 muestreos consecutivos para cubrir toda el área. Cuando las dimensiones y forma del área de estudio permiten acomodar varios cuadrados, será necesario tomar muestras de las intersecciones de los cuadrados, donde los puntos 9 y 10 del primer cuadrado están cercanos a los puntos 1 y 18 del cuadrado siguiente, respectivamente.

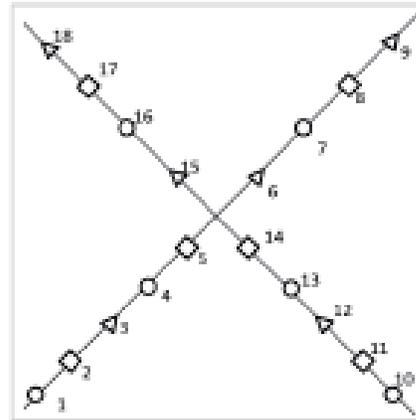


Fig. 11 Diagonales cruzadas rotantes

Muestreo irregular en forma de N, S, X o W. En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.



Fig. 12: Muestreo irregular en forma de N, S, X, W, Zig Zag y Zig Zag transverso

Zig-zag. Sobre el plano, se dibuja una línea en zig-zag, y sobre ésta se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Al igual que en el caso anterior, estos patrones no permite resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

Zig-zag transverso. Sobre el plano se marca una líneas en zig-zag irregular tratando de que cubra toda la superficie de estudio, y sobre ésta, se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Estos patrones tampoco permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

Para cualquiera de los patrones de muestreo que se pretenda aplicar, es muy importante contar con un plano acotado del sitio de estudio, con la finalidad de marcar los puntos y obtener sus respectivas coordenadas para posteriormente confirmarlos en el propio sitio con ayuda de un geoposicionador.

Anexo F

Ficha de validación: Variable Independiente

Ficha de Observación

Variable Independiente	Muestra de tratamiento	Plantas de tratamiento	Atributos físicos			Concentración	
			Tamaño de hojas	Tamaño de raíz	De hojas	Plomo en las hojas	Plomo en la raíz
ABSORCIÓN DE PLOMO DE RICINUS COMMUNIS	E-1	T-1					
	E-2	T-2					
	E-3	T-3					
	E-4	T-4					
	E-5	T-5					
	E-6	T-6					
	E-7	T-7					
	E-8	T-8					

Fuente: Elaboración propia