

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“FENOLOGÍA DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) CULTIVADO EN  
SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE LA EX  
MINERA SANTA ROSA DE CATA – COAYLLO – CAÑETE”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

ROCA LIÑAN, PETER GIANPIER

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Para mis padres Pete y Yenny por su apoyo constante en cada momento para poder lograr mis objetivos en esta etapa de mi vida profesional.

A mis familiares y amigos por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, familiares y amigos por el apoyo incondicional en cada etapa de mi avance profesional que son los que me ayudan a salir adelante ante cualquier obstáculo que se presenta en el camino.

Al Mg. Ing. Marcelino por su apoyo y asesoramiento constante para la culminación del presente trabajo.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática .....	2
1.2. Justificación del Problema.....	3
1.3. Delimitación del Proyecto .....	3
1.3.1. Teórica .....	3
1.3.2. Temporal.....	3
1.3.3. Espacial.....	4
1.4. Formulación del Problema.....	4
1.4.1. Problema General .....	4
1.4.2. Problemas Específicos.....	5
1.5. Objetivos del trabajo de suficiencia profesional.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	7
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Marco Legal .....	9
2.2.2. Suelo.....	9
2.2.3. Suelos contaminados por metales pesados .....	10
2.2.4. Relaves mineros .....	13
2.2.5. El cultivo de Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) .....	14
2.2.6. Partes del cultivo del girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) .....	15
2.2.7. Estadios fenológicos del cultivo de girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ).....	17
2.2.8. Fitorremediación .....	21
2.3. Definición de términos básicos.....	24
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	25
3.1. Modelo de solución propuesto.....	25
3.1.1. Ubicación del lugar de muestreo.....	25
3.1.2. Metodología .....	26
3.1.3. Diseño experimental .....	29

3.2. Resultados .....	34
CONCLUSIONES .....	47
RECOMENDACIONES .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	51
Anexo 1: Recolección de Muestras .....	52
Anexo 2: Etiquetado de Muestras. ....	53
Anexo 3: primer Informe de Ensayo de Laboratorio .....	54
Anexo 4: Determinación del PH del suelo .....	56
Anexo 5: Pesado de Suelo Contaminado con Metales Pesados .....	57
Anexo 6: Primera Semana de Germinación .....	58
Anexo 7: Crecimiento a 2 semanas.....	59
Anexo 8: Crecimiento a 4 semanas.....	60
Anexo 9: Segundo informe de ensayo de laboratorio.....	61

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur .....	4
Figura 2. Curva del crecimiento de materia seca con la provisión de nutrientes .....	12
Figura 3. Localización geográfica del área de estudio .....	25
Figura 4. Mapa de los puntos de muestreo de identificación .....	28
Figura 5. homogenización de las muestras de suelo contaminado .....	33
Figura 6. Mezcla de suelo contaminado con metales pesados más compost .....	34

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estadios fenológicos del girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) .....	18
Tabla 2. Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación .....	26
Tabla 3. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de identificación .....	27
Tabla 4. Resultados de análisis de metales pesados .....	30
Tabla 5. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 1 .....	35
Tabla 6. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 2 .....	36
Tabla 7. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 3 .....	37
Tabla 8. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 4 .....	38
Tabla 9. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 5 .....	39
Tabla 10. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 6 .....	40
Tabla 11. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 7.....	41
Tabla 12. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 8 .....	42
Tabla 13. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 9 .....	43
Tabla 14. Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 10 .....	44
Tabla 15. Resultado del segundo análisis de los metales pesados .....	45

## INTRODUCCIÓN

El incremento de las minerías ilegales e informales en el Perú ha conllevado a la generación de pasivos ambientales contaminando el suelo, el agua y el aire. El cual causa daños y contaminación a la salud de la población, los animales y sus cultivos.

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado mediante un diseño experimental en el cual se evalúa los estadios fenológicos del cultivo de girasol en suelos contaminados con metales pesados. Se realizó en 20 maceteros a diferentes concentraciones de suelo contaminado con metales pesados, suelo no contaminado y materia orgánica. Los suelos contaminados con metales pesados fueron extraídos de la ex Minera Santa Rosa de Cata de la provincia de Cañete.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En el Perú las contaminaciones por pasivos ambientales van en aumento, actualmente tenemos más de 8000 pasivos ambientales según el MINEM (2017). la gran mayoría son minerías informales e ilegales, ubicados en Áncash, Cajamarca y Puno que no cumplen su plan de cierre. Solo en Lima se contaba con 693 pasivos ambientales. Blog de la Defensoría del Pueblo. (2017).

En el distrito de Coayllo de la provincia de Cañete se encuentra una ex minera de Santa Rosa de Cata, es un pasivo ambiental que está contaminando el río Mala, el suelo que se encuentra dentro de su área de impacto, y el aire y la salud de la población; debido a que la población se dedica a la ganadería y agricultura. La población riega sus cultivos con el río Mala y esos cultivos cosechados luego son consumidos por la población y sus ganados entrando los metales pesados en la cadena trófica causando enfermedades a la población. Municipalidad distrital de Mala. (2016).

El presente trabajo de investigación se realizó mediante un diseño experimental para determinar los efectos fenológicos en el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus*) cultivados en suelos contaminados con metales pesados en 20 maceteros a diferentes concentraciones de suelo contaminado con metales pesados extraídos de la ex miera Santa Rosa de Cata, suelo no contaminado y materia orgánica.

## **1.2. Justificación del Problema**

El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto a largo plazo y silencioso y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y sobre todo que son peligrosos para la salud, así mismo la contaminación con plomo afectan a las plantas ya que reduce la producción de clorofila y el crecimiento de las plantas, pero aumenta la superóxido dismutasa (metal que contiene la enzima antioxidante).

La importancia de realizar el presente estudio consiste en evaluar los efectos que causan los metales pesados en los girasoles (*Helianthus annuus*) cultivados a diferentes dosis de concentración de suelo contaminado por los pasivos ambientales de la ex minera Santa Rosa de Cata.

El diseño experimental nos permitirá evaluar los efectos en los estadios fenológicos del girasol cultivados en maceteros a diferentes concentraciones de suelo contaminado por metales pesados extraídos de la ex minera Santa Rosa de Cata de la provincia de Cañete.

## **1.3. Delimitación del Proyecto**

### **1.3.1. Teórica**

El presente estudio tiene como finalidad evaluar los efectos fenológicos del girasol (*Helianthus annuus*) cultivados en suelos contaminados con metales pesados mediante un diseño experimental cultivados en veinte maceteros a diferentes concentraciones de suelo contaminado por metales pesados extraídos de la ex minera Santa Rosa de Cata de la provincia de Cañete, suelo contaminado y materia orgánica.

### **1.3.2. Temporal**

El presente estudio se realizó desde el mes de enero a inicios de abril entre, se monitoreo todos los días en las mañanas para ver los efectos de los metales durante su crecimiento y desarrollo del cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) en las instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

### 1.3.3. Espacial

La Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) la cual está ubicada en la Av. Central y Av. Bolívar - Sector 3 - Grupo 1A 03, Villa el Salvador.

**Figura 1.** Ubicación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur



Fuente: Google Earth, 2018

## 1.4. Formulación del Problema

### 1.4.1. Problema General

¿Cuáles son los efectos de los metales pesados en los estadios fenológicos del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coaylo – Cañete?

#### **1.4.2. Problemas Específicos**

¿Cuáles son los efectos de los metales pesados en las características morfológicas del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete?

¿Cuáles son los efectos de los metales pesados a diferentes concentraciones y un 5% de compost en las características morfológicas del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete?

#### **1.5. Objetivos del trabajo de suficiencia profesional**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de los metales pesados en los estadios fenológicos del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

Determinar el efecto de los metales pesados en las características morfológicas del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete.

Determinar el efecto de los metales pesados a diferentes concentraciones y un 5% de compost en las características morfológicas del girasol (*Helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados proveniente de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coayllo – Cañete.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

(Tania Gómez, 2015) en su tesis: *“Análisis de producción de tioles de bajo peso molecular en respuesta a varias concentraciones de adsorción de Cr(VI) en H annuus como mecanismo de defensa para conocer la concentración máxima de tolerancia”*, en el Instituto Politécnico Nacional para alcanzar el grado de Ingeniero en Biotecnología de México. Concluyendo lo siguiente:

Se observó que las concentraciones de Cr(VI) afectaron significativamente el crecimiento de las hojas cotiledóneas, reduciendo su tamaño hasta 1.6cm, no observándose este efecto para raíces y los tallos.

Se observó que las concentraciones de Cr(VI) afectaron significativamente la producción de compuestos tiólicos de bajo peso molecular en hojas, raíces y los tallos.

(Silvia Concepción, 2009) en su tesis: *“Estrés por uranio en plantas. acumulación en especies vegetales de zonas mineras y estudio de respuestas fisiológicas en remolacha (Beta vulgaris)”* en la Universidad Politécnica de Valencia para alcanzar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas de España. Concluyendo lo siguiente:

Las dos especies de jarilla (Larrea nitida y Larrea divaricata) se hallaron sólo en los suelos naturales o con niveles bajos de U, sin haberse podido determinar si esta situación es una respuesta a la toxicidad provocada por el U o al escaso desarrollo del perfil del suelo de las escombreras que impediría el asentamiento de arbustos con mayor desarrollo radicular.

La especie vegetal que mostró mayor tolerancia al uranio fue el coirón (*Stipa* sp.), que colonizó sustratos con concentración de uranio de 386 mgU.kg<sup>-1</sup> suelo y todas las especies vegetales analizadas mostraron valores de concentración de uranio superiores en la raíz que en la parte aérea. El uranio queda retenido en las raíces y la translocación hacia la parte aérea está restringida.

Las especies identificadas como tolerantes al uranio y capaces de colonizar las escombreras contaminadas en Sierra Pintada, especialmente el coirón y el chil-chil, poseen un importante valor para su uso en Fitoestabilización de los sustratos, una técnica de fitorremediación especialmente utilizada para prevenir la movilidad y migración de los contaminantes.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

(Rodríguez Sánchez, 2018) hizo la tesis: *“Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga”*, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva para alcanzar el grado de Ingeniero en Recursos Naturales. Mediante lo cual concluye: El valor de cadmio y plomo disponible en el suelo está por debajo de los valores límites permisibles, con un Cd y Pb máximo disponible de 0.45 ppm y 7.20 ppm respectivamente.

Los valores máximos de cadmio total a nivel foliar se encuentran en las parcelas se encuentran en las parcelas de 5 y 10 años y en la etapa fenológica de plena plenitud (2.71 ppm y 3.39 ppm). Y Los valores máximos de plomo total a nivel foliar y almendras se encuentra en las parcelas de 15 y 20 años y en la etapa fenológica de plena 72 fructificación (15.40 ppm y 27.04 ppm).

(Jimmy Ynfa, 2017) en su tesis: *“Efecto del relave minero en la respiración potencial y la actividad enzimática del suelo y su relación*

*con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas de maíz (Zea mays L.) c.v. Cabanita y bioacumulación de metales pesados*”, en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa para alcanzar el grado de Biólogo. Llegando a las siguientes conclusiones:

A medida que aumenta la concentración de suelo agrícola en la mezcla con relave minero, disminuye la producción de CO<sub>2</sub> y que a mayor concentración de relave minero disminuye la respiración potencial del suelo. Los tratamientos t2 (4% relave), t4 (16% relave) y t5 (32% relave) tuvieron mayor crecimiento foliar que la muestra testigo del maíz (0% relave).

(Fernando Cornejo, 2017) en su tesis: *“Incorporación de materia orgánica en el cultivo de cebolla (Allium Cepa L.) cv. “roja perilla” y su efecto en la presencia de metales pesados y patógenos en los suelos de la irrigación zamácola – Arequipa”*, en la Universidad Católica de Santa María para alcanzar el grado de Ingeniero Agrónomo. Concluyendo:

la incorporación de estiércol fresco al suelo aumenta la presencia de los metales pesados más que el estiércol procesado. Así mismo este incremento de metales pesados no influye en su crecimiento de las cebollas.

La aplicación de estiércol fresco incrementa la presencia de microorganismo en cambio el uso estiércol procesado disminuye la presencia de microorganismos.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Marco Legal**

- **Ley General del Medio Ambiente, Ley N° 28611, 2005**, artículo 27 de los planes de cierre de actividades y el artículo 30 de los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales.
- **Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM**, ECA para suelo que establecen los parámetros de calidad ambiental para suelo.

### **2.2.2. 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. Según guía para muestreo de suelos, En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

#### **Suelo contaminado**

Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

#### **Sitio contaminado**

Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente. Según guía para muestreo de suelos, En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

### **2.2.3. Suelos contaminados por metales pesados**

#### **Disposición de los metales en el suelo**

La biodisponibilidad de los metales pesados varía en los distintos suelos en relación con las propiedades de éstos y las complejas relaciones rizosféricas que incluyen no sólo los intercambios suelo-planta sino también la actividad de microorganismos (Schützendübel y Polle, 2002).

Si bien muchos de los valores guía o límites máximos permisibles de concentración de metales en distintos medios están establecidos en relación a la concentración total de metales en el medio, se considera que la biodisponibilidad y la fitotoxicidad están relacionadas con la concentración de metales en la solución del suelo y con los factores que gobiernan el mantenimiento de esta concentración de metales solubles (Nolan et al., 2005; Walter et al., 2003; Gérard et al., 2000). Considerando que las plantas absorben los nutrientes y otros elementos directamente de la solución del suelo, es esperable que la biodisponibilidad de los metales dependa en gran medida de su solubilidad. Se ha observado correlación entre la concentración de metales pesados solubles en el suelo y la concentración de los mismos en las plantas, pudiéndose aplicar los conceptos básicos de disponibilidad de nutrientes basados en los parámetros de cantidad, intensidad (actividad o concentración en la solución del suelo) y reposición (Schmidt, 2003). El factor reposición es muy importante ya que la concentración de iones libres en la solución resulta insuficiente para explicar la absorción de los metales por las plantas, interviniendo la fase sólida en su disponibilidad (Gérard et al., 2000). La adsorción de los metales en las partículas de suelo y los fenómenos de intercambio regulan la partición de los metales entre la fase sólida y la fase solución, interviniendo, en la reposición de la concentración de metales solubles en la solución del suelo.

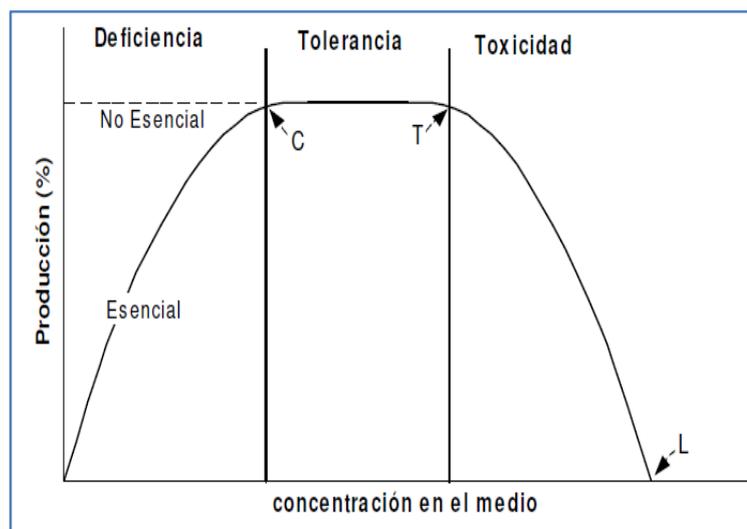
La composición mineralógica, las variaciones en el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el pH del suelo, el estado de oxidación y los otros iones acompañantes determinan la solubilidad de los metales en la solución del suelo y la capacidad de adsorción de los metales pesados en la fase sólida. La materia orgánica y los minerales conteniendo óxidos de hierro, aluminio y manganeso son sitios de adsorción que sustraen a los metales pesados de la solución del suelo. Al mismo tiempo los cationes metálicos pueden formar precipitados relativamente insolubles con fosfatos y otros componentes aniónicos del suelo. Los procesos de precipitación y adsorción son dependientes del pH, aumentando la adsorción a medida que aumenta el pH (Basta et al., 2005). Por este motivo, en general, los metales se encuentran más accesibles para ser absorbidos por las plantas en suelos o medios de cultivo ácidos. Sin embargo, la concentración en la solución del suelo y su reposición no son los únicos factores que intervienen en la absorción de los metales en las plantas, ya que éstos podrían ser absorbidos también como iones hidratados y como complejos formados con quelantes (Clemens et al., 2002). Las mismas plantas pueden ejercer influencia sobre la biodisponibilidad de los metales a partir de procesos que modifican el pH del medio (Hammer y Keller, 2002), como la liberación de exudados (acomplejantes, ácidos orgánicos y aminoácidos), la liberación de CO<sub>2</sub> proveniente de la respiración de las raíces y, predominantemente, por la excreción neta de H<sup>+</sup> o HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> relacionada con el balance de cationes/aniones disponibles y absorbidos por las raíces (Marschner, 1993). En la rizosfera se puede producir, también, un descenso del potencial redox debido a la actividad de microorganismos (por ejemplo: consumo de O<sub>2</sub> por respiración) o a condiciones circunstanciales o permanentes de anegamiento. Este descenso del potencial redox reduce la disponibilidad de ciertos nutrientes, en particular ciertos metales que presentan más de un estado de oxidación con distinta solubilidad.

Muchos de los mecanismos inducidos por las plantas para modificar el entorno de la izosfera constituyen estrategias para asegurarse la provisión de nutrientes esenciales que se encuentran a nivel de trazas en el medio o cuya solubilidad está disminuida por condiciones específicas del medio. Metales como Cu, Co, Fe, Mo, Ni y Zn se encuentran entre estos elementos. (Concepción, 2009).

La toxicidad o efectos adversos provocados por los metales pesados dependen del contaminante considerado y del organismo blanco o cuerpo receptor. Teniendo en cuenta que los metales pueden acumularse biológicamente y biomagnificarse, el riesgo de toxicidad puede aumentar en niveles tróficos superiores (Ahluwalia y Goyal, 2007).

La incorporación de sustancias fitotóxicas a las plantas está relacionada con los mecanismos desarrollados por cada especie vegetal para su exclusión o tolerancia y con la disponibilidad del tóxico en el medio. Un elemento potencialmente tóxico se constituye en un riesgo mayor cuando se encuentra en una forma biodisponible.

**Figura 2.** curva del crecimiento de materia seca con la provisión de nutrientes



Fuente: Curva de respuesta a la concentración de elementos esenciales y no esenciales en el medio de crecimiento de las plantas. C: punto crítico de deficiencia para elementos esenciales; T: umbral de toxicidad y L: toxicidad letal. Modificado a partir de Berry y Wallace (1981) y Hagemeyer (2004).

La conocida curva que relaciona el crecimiento o producción de materia seca con la provisión de nutrientes es también aplicable para aquellos metales pesados que son micronutrientes esenciales (Figura 2), pero con un umbral de toxicidad más bajo que los observados para macronutrientes como N y P. Los metales pesados sin función metabólica (no esenciales) no provocan respuesta en el crecimiento cuando su concentración en el medio es baja, pero cuando la concentración aumenta los síntomas de toxicidad aparecen, disminuyendo el crecimiento de la planta. Los umbrales de tolerancia y toxicidad para elementos esenciales y no esenciales no coinciden necesariamente como se muestra en la Figura 2 sino que puede haber un desplazamiento hacia la izquierda (concentraciones más bajas en el medio) en los casos de metales pesados no esenciales altamente tóxicos.

El efecto amortiguador del suelo debido a los procesos de adsorción, intercambio, y posibles precipitaciones en la disponibilidad de los metales pesados se mantiene en zonas costeras o en aguas someras donde los sedimentos ejercen influencia sobre el balance de metales solubles, pero desaparece en medios acuáticos puros. En medio acuático, la disponibilidad de los metales pesados para las plantas estará fuertemente influenciada por la solubilidad del metal pesado en sí mismo, pero también por la combinación y concentración de los otros elementos químicos acompañantes y por las restricciones impuestas al crecimiento de las raíces en este medio, especialmente en el caso de plantas originariamente terrestres.

#### **2.2.4. Relaves mineros**

Los relaves son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tranques o pozas de relaves» donde lentamente los contaminantes se van decantando en

el fondo y el agua es recuperada o evaporada. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos. El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua y para evitar filtraciones hacia el suelo y napas subterráneas, ya que su almacenamiento es la única opción. Para obtener una tonelada de concentrado se generan casi 30 toneladas de relave. Dado que el costo de manejar este material es alto, las compañías mineras intentan localizar los "tanques o pozas de relave" lo más cerca posible a la planta de procesamiento de minerales, minimizando costos de transporte y reutilizando el agua contenida. Documental sobre los graves peligros de los relaves mineros, (2012).

#### **2.2.5. El cultivo de Girasol (*Helianthus annuus*)**

Es también conocido como maíz de Texas, gigantón, flor de sol, lampote y polocote. Al igual que las margaritas y los crisantemos, el girasol es una planta domesticada de la familia de las asteráceas, quienes son las dicotiledóneas más evolucionadas, puesto que en lugar de flores sencillas agrupan varias pequeñas en una cabezuela, lo que facilita su polinización. Ecured (2015) Girasoles.

El origen del girasol se remonta a 3.000 años a.c en el norte de México y Oeste de Estados Unidos, ya que fue cultivado por las tribus indígenas de Nuevo México y Arizona. El girasol era uno de los principales productos agrícolas empleados en la alimentación por muchas comunidades americanas antes del descubrimiento. La semilla de girasol fue introducida en España por los colonizadores y después se extendió al resto de Europa. El girasol fue cultivado durante más de dos siglos

En España y en el resto de Europa por su valor ornamental, debido al porte y sobre todo a la belleza de sus inflorescencias. Fue durante el siglo XIX cuando comenzó la explotación industrial de su aceite destinada a la alimentación (Infoagro, 2014).

### 2.2.5.1. Clasificación botánica

- Villar (2 014), indica la siguiente clasificación botánica:
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Subclase: Asteridae
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Género: Helianthus
- Especie: Annuus L.
- Nombre científico: Helianthus annuus L.

### 2.2.6. Partes del cultivo del girasol (*Helianthus annuus*)

La fenología es la descripción de cada una de las etapas de la vida de la planta. Estas etapas deben ser conocidas y distinguidas, porque cada una representa distintas funciones metabólicas, requerimientos de agua, cantidad de nutrientes y balance de los mismos (Yzarra, 2014).

#### La Raíz

Al comienzo del desarrollo, la raíz principal crece más rápidamente que la parte aérea de la planta. Durante el estado cotiledonal, tiene de 4-8 cm de largo con 6 a 10 raicillas, y durante la fase de desarrollo llega a una profundidad de 50 - 70 cm, llegando al máximo de crecimiento en la floración. Normalmente la longitud de la raíz principal sobrepasa la altura del tallo, en girasol de semilla. (Viorel 1997 y Robles 1985).

#### El tallo

Es erecto, vigoroso y cilíndrico, teniendo en su interior macizo. La superficie exterior es rugosa, asurca y vellosa, aunque en su parte basal la vellosoidad es escasa o falta totalmente. En la mayoría de los casos el tallo es recto solamente en la madurez se inclina en la parte terminal, bajo el peso del capítulo. No obstante, existe una gran

variabilidad en cuanto a la inclinación del tallo, dada por el grado de desarrollo de sus tejidos mecánicos. (Viorel 1997).

Al llegar la madurez, el tallo se arquea en su extremo debido al peso, el capítulo floral se vuelve hacia el suelo en mayor o menor grado. El diámetro varía entre 2 a 6 cm, y una altura hasta el capítulo entre 40 cm para ornamentales y 2 m. para semilla, en la madurez el tallo se inclina en la parte terminal debido al peso del capítulo. (Durante 2004).

### **Las hojas**

Las primeras hojas que se forman (las cotiledonales) son carnosas y ovaladas, de un tamaño de 2 a 3 cm. El primer par de hojas verdaderas, que se forma inmediatamente después de los cotiledones, se caracteriza por un desarrollo más fuerte del limbo foliar en comparación con el peciolo.

El número de las hojas varía entre 12 y 40, en función de las condiciones de cultivo, así como de las peculiaridades individuales y de la variedad. El color de las hojas es también variable y va desde verde oscuro a verde amarillento.

Las hojas sombrean el suelo y lo protegen contra la caída directa de las gotas de lluvia. Son bastante grandes, sus dimensiones pueden estar en torno a 30 cm de ancho por 40 cm de largo y adheridos al tallo mediante un peciolo bastante ancho. De todas las hojas las que más fotosíntesis realizan son las centrales pues las últimas se aprovechan de las centrales y las últimas se secan. (Viorel 1997).

### **La inflorescencia**

Está compuesta y está formada por numerosas flores situadas en un receptáculo discoidal. El receptáculo es aplanado, cóncavo o convexo. El diámetro del capítulo varía entre 10 y 40 cm, en función de la variedad y de las condiciones de crecimiento. (Viorel 1997).

Las flores liguladas se encuentran en el verticilo o anillo exterior del capítulo, está formado normalmente por una o dos filas de flores liguladas estériles, el color de estas lígulas suele ser amarillo dorado, amarillo claro o amarillo anaranjado, las lígulas son lanceoladas, con una función de exhibición y atracción visual para los insectos polinizadores. (Aguilar 2010).

Las flores tubulares situadas en el interior del capítulo, son las flores propiamente dichas, ya que contienen los órganos reproductores, son sésiles, hermafroditas, y de cada flor se obtendrá una semilla; forman círculos espirales desde el centro hasta el anillo de flores liguladas que lo rodea. En la mayoría de los cultivares para flor cortada, que suelen ser híbridos, las flores tubulares son estériles, no forman polen, ni producen semilla. (Aguilar 2010).

### **El fruto**

Es un aquenio comprimido que tiene 7,5 – 17 mm de largo, 3,5 -9 milímetros de ancho y 2,5 -2, mm de espesor. En el lenguaje vulgar los aquenios son denominados impropriamente semilla. (Viorel 1997).

### **La semilla**

Una vez fecundada la flor, el ovario se transforma en fruto y el óvulo en semilla. El fruto es seco e indehiscente y recibe el nombre de aquenio, el mismo que está compuesto por el pericarpio (capa envolvente), y la semilla (en la parte interna). El tamaño, dependiendo de la ubicación, dentro del capítulo, oscila entre 8-17 mm de largo por 4-8 mm de ancho y 2,5-5 mm de espesor. El pericarpio, vulgarmente denominado cáscara, puede ser de color blanco, blanco estriado, negro, pardo, rojizo, café, etc. (Ortegón 1993).

#### **2.2.7. Estadios fenológicos del cultivo de girasol (*Helianthus annuus*)**

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo del girasol (*Helianthus annuus*).

**Tabla 1.**  
Estadios fenológicos del girasol (*Helianthus annuus*).

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Estadio Principal 0</b>	
<b>00</b>	Semilla seca (aquenio).
<b>01</b>	Comienzo de la imbibición de la semilla.
<b>03</b>	Fin de la imbibición de la semilla.
<b>05</b>	Salida de la radícula (raíz embrional) de la semilla.
<b>06</b>	Radícula alargada; formando pelos radiculares.
<b>07</b>	Hipocótilo, con los cotiledones fuera de la semilla.
<b>08</b>	Hipocótilo, con los cotiledones creciendo hacia la superficie del suelo.
<b>09</b>	Emergencia: Los cotiledones traspasan la superficie del suelo.
<b>Estadio principal 1</b>	
<b>Desarrollo de las hojas (tallo principal).</b>	
<b>10</b>	Cotiledones, totalmente desplegados.
<b>12</b>	1er par de hojas desplegadas.
<b>14</b>	2do par de hojas desplegadas.
<b>15</b>	5 hojas, desplegadas.
<b>15</b>	6 hojas, desplegadas.
<b>17</b>	7 hojas, desplegadas.
<b>18</b>	8 hojas, desplegadas.
<b>19</b>	9 o más hojas, desplegadas.
<b>Estadio principal 3</b>	
<b>Crecimiento longitudinal del tallo principal</b>	
<b>30</b>	Comienzo del crecimiento longitudinal del tallo.
<b>31</b>	1 entrenudo, alargado visiblemente.
<b>32</b>	2 entrenudos, alargados visiblemente.
<b>33</b>	3 entrenudos, alargados visiblemente.
<b>3.</b>	3. Los estadios continúan hasta ...

---

39 9 o más entrenudos alargados visiblemente.

<b>Estadio principal 5</b>	<b>Aparición del órgano floral (tallo principal)</b>
----------------------------	--

- |    |   |
|----|---|
| 51 | Inflorescencia (capítulo) recién visible entre las hojas más jóvenes.   |
| 53 | Inflorescencia (capítulo) se comienza a separar de las hojas más jóvenes; las brácteas se pueden distinguir de las hojas del follaje. |
| 55 | Inflorescencia (capítulo) separada de las hojas más jóvenes del follaje.  |
| 57 | Inflorescencia (capítulo) claramente separada de las hojas del follaje.   |
| 59 | Flores de la corona visibles entre las brácteas; inflorescencia (capítulo) aún cerrada.   |

<b>Estadio principal 6</b>	<b>Floración (tallo principal)</b>
----------------------------	------------------------------------

- |    |  |
|----|--|
| 61 | Comienzo de la floración: las flores de la corona se alargan; las flores tubulosas del disco visibles en el tercio exterior de la inflorescencia (capítulo). |
| 63 | Las flores tubulosas del disco del tercio exterior de la inflorescencia (capítulo), en floración (estambres y estigmas, visibles).                           |
| 65 | Plena floración: las flores tubulosas del disco del tercio medio de la inflorescencia (capítulo), en floración (estambres y estigmas, visibles).             |
| 67 | La floración decae: las flores tubulosas del disco del tercio interior de la inflorescencia (capítulo), en floración (estambres y estigmas, visibles).       |
| 69 | Fin de la floración: la mayoría de las flores tubulosas del disco han florecido. El cuajado de frutos se puede observar en los tercios exteriores y medios   |
-

---

del capítulo. Flores liguladas de la corona secas o caídas.

<b>Estadio principal 7</b>	<b>Formación del fruto.</b>
<b>71</b>	Las semillas del borde del capítulo de color gris y tamaño final.
<b>73</b>	Las semillas del tercio exterior del capítulo de color gris y tamaño final.
<b>75</b>	Las semillas del tercio medio del capítulo de color gris y tamaño final.
<b>79</b>	Las semillas del tercio interior del capítulo de color gris y tamaño final.

<b>Estadio principal 8</b>	<b>Maduración de frutos y semillas</b>
<b>80</b>	Comienzo de la madurez: las semillas del borde del capítulo, negras y duras; El envés del capítulo aún verde.
<b>81</b>	Semilla del tercio exterior del capítulo, negras y duras; envés del capítulo, aún verde.
<b>83</b>	Madurez limón: el envés del capítulo, de color verde-amarillento; brácteas aún verdes; semillas con 50 % de materia seca.
<b>85</b>	Madurez avanzada: semillas del tercio medio del capítulo negras y duras; el envés del capítulo, amarillo; brácteas, con filo marrón; semillas con 60 % de materia seca.
<b>87</b>	Madurez fisiológica: el envés del capítulo, amarillo; brácteas de color mármol; semillas con 75-80 % de materia seca.
<b>89</b>	Madurez total: las semillas del tercio interior del capítulo negras y duras; envés del capítulo, marrón;

---

---

brácteas, marronas; semillas con 85 % de materia seca.

<b>Estadio principal 9</b>	<b>Senescencia</b>
<b>92</b>	Sobremadurez: semillas con más de 90 % de materia seca.
<b>97</b>	Planta, muerta y seca.
<b>99</b>	Partes cosechadas.

---

Fuente: Weber und Bleiholder, 1990; Lancashire et al., 1991

### **2.2.8. Fitorremediación**

Proviene del griego de Phyto que significa “planta” y remediare que significa “remediar”, se basa en el conjunto de uso de plantas y técnicas agronómicas para eliminar, degradar, retener o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney et. al., 1983).

Estas fitotecnologías son aplicables tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos (metales pesados), presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen (R.O. Carpena, M. Pilar Bernal, 2007).

#### **2.2.8.1. Tipos de fitorremediación**

- Fitoextracción: uso de plantas acumuladoras para concentrar metales en las partes cosechables.
- Fitoestabilización: uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los metales pesados en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- Fitoimmobilización: uso de las raíces de las plantas para su fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.

- Fitovolatilización: uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- Fitodegradación; uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- Rizofiltración: uso de raíces para absorber y adsorber metales pesados del agua y de otros efluentes acuosos.

#### **2.2.8.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación**

##### **Ventajas**

Se puede realizar *in situ* o *ex situ*, son amigables con el medio ambiente, la inversión es de bajo costo, es aplicable tanto en agua y suelo contaminados con metales pesados, sólo se requiere prácticas agronómicas convencionales, es una tecnología sustentable, actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas debido a la formación de una cubierta vegetal.

##### **Desventajas**

La concentración del contaminante debe estar dentro de los límites tolerables de la planta, en especies como los árboles o arbustos la fitorremediación es un proceso relativamente lento, en el caso de la Fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente y No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.

#### **2.2.9. Capacidad fitorremediadora del girasol**

El girasol es una rizofiltradora potencial de cadmio, níquel, cobre, zinc, cromo y plomo. (Davis et al 2001 y Simon 1998).

##### **Toxicidad de metales pesados en las plantas**

Una desventaja importante de la fitorremediación es que altas concentraciones de metales pesados o ciertas combinaciones de metales pesados pueden afectar adversamente el crecimiento de la

planta y la producción de biomasa alterando la fisiología y morfología de las plantas (Gardea-Torresdey et al., 2005).

Algunas especies vegetales tienen la capacidad de crecer y desarrollarse en suelos metalíferos (suelos ricos en metales), tales como cerca de los sitios mineros. Tales plantas pueden ser utilizadas para limpiar sitios contaminados con metales pesados. Los efectos generales de varios metales en la planta son (Gardea-Torresdey et al., 2005):

- **Cadmio:** Disminuye la germinación de las semillas, el contenido de lípidos y el crecimiento de la producción de fitoquelatinas. Fitoquelatina es un péptido de unión de metal y tiene un papel importante en la desintoxicación de cadmio en las plantas.
- **Cromo:** Causa disminución en la actividad enzimática y el crecimiento de la planta, y produce daños en la membrana, clorosis y daños en las raíces.
- **Cobre:** Interrumpe la fotosíntesis, el crecimiento de las plantas y los procesos reproductivos, y disminuye la superficie de la superficie del tilacoide.
- **Mercurio:** Ayuda a acumular fenol, pero disminuye la actividad fotosintética, absorción de agua y enzimas antioxidantes.
- **Níquel:** Reduce la germinación de las semillas, la producción de proteínas, la producción de clorofila y enzimas y la acumulación de masa seca, pero aumenta la cantidad de aminoácidos libres.
- **Plomo:** Reduce la producción de clorofila y el crecimiento de las plantas, pero aumenta la superóxido dismutasa (metal que contiene la enzima antioxidante).
- **Zinc:** Reduce la toxicidad del níquel y la germinación de las semillas, pero aumenta el crecimiento de las plantas y la relación ATP / clorofila a concentraciones moderadas (Gardea-Torresdey et al, 2005).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Compost:** es un abono orgánico que se obtiene a partir de restos orgánicos.

**Fenología:** son los cambios externos visibles el desarrollo de una planta frente a las condiciones ambientales.

**Fitorremediación:** es una técnica que aprovecha la capacidad de algunas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua.

**Metales pesados:** son un grupo de elementos químicos cuya densidad es mucho mayor que el agua entre ellas tenemos (cadmio, plomo, cobre, zinc, mercurio, arsénico, níquel, cromo, selenio).

**Pasivo ambiental:** son considerados efluentes, emisiones, residuos, instalaciones en la actualidad abandonadas o inactivas que no fueron remediados y siguen causando efectos negativos al medio ambiente.

**Relave minero:** corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación.

**Toxicidad:** Es una medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos. El estudio de los venenos se conoce como toxicología. La toxicidad puede referirse al efecto de esta sobre un organismo completo, como un ser humano, una bacteria o incluso una planta.

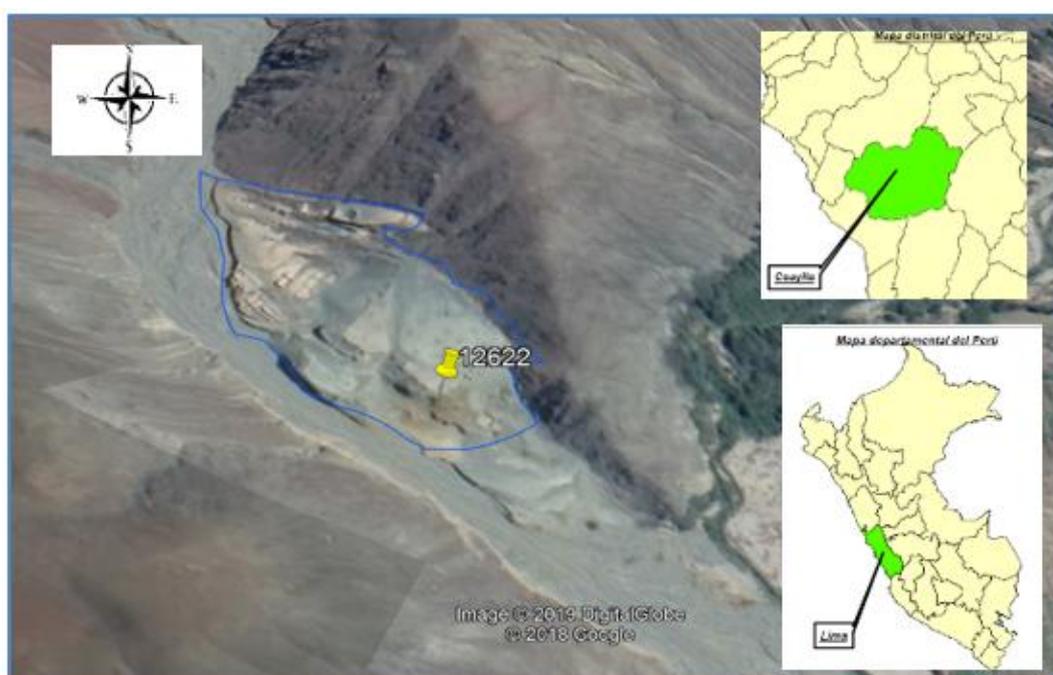
## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### 3.1. Modelo de solución propuesto

#### 3.1.1. Ubicación del lugar de muestreo

Las muestras fueron tomadas de la ex minera Santa Rosa de Cata, Coayllo, provincia de Cañete, Lima – Perú. Cuyas coordenadas son: WGS353844.00 (E) 8606011.00 (S). (Google Earth, 2019).

**Figura 3.** Localización geográfica del área de estudio



Fuente: elaboración propia

### 3.1.2. Metodología

#### 3.1.2.1. Plan de muestreo

Según la guía para el plan de muestreo de suelo, se realizó la técnica de muestreo para muestras en profundidad. Para el muestreo de identificación se determinó 18 puntos de muestreo por el área de influencia de estudio de 2.75 hectáreas de la ex minera Santa Rosa de Cata.

#### 3.1.2.2. Determinación de puntos de muestreo de identificación

El número mínimo de puntos de muestreo se determinó en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio, según lo establecido en la Tabla 2, que abarca el número total de los puntos de muestreo.

**Tabla 2.**

*Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación.*

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: Guía de muestreo de suelo, MINAM.

El área de influencia de estudio es de 2.75 hectáreas, para determinar la cantidad de puntos de muestreo se observó la tabla número 2: número mínimo de puntos de muestreo de identificación, la cual se determinó 18 puntos de muestreo.

Para determinar la ubicación de los puntos a muestrear se realizó el muestreo estadístico aleatorio simple mediante las rejillas regulares.

Coordenadas UTM de los 18 puntos de muestreo de identificación:

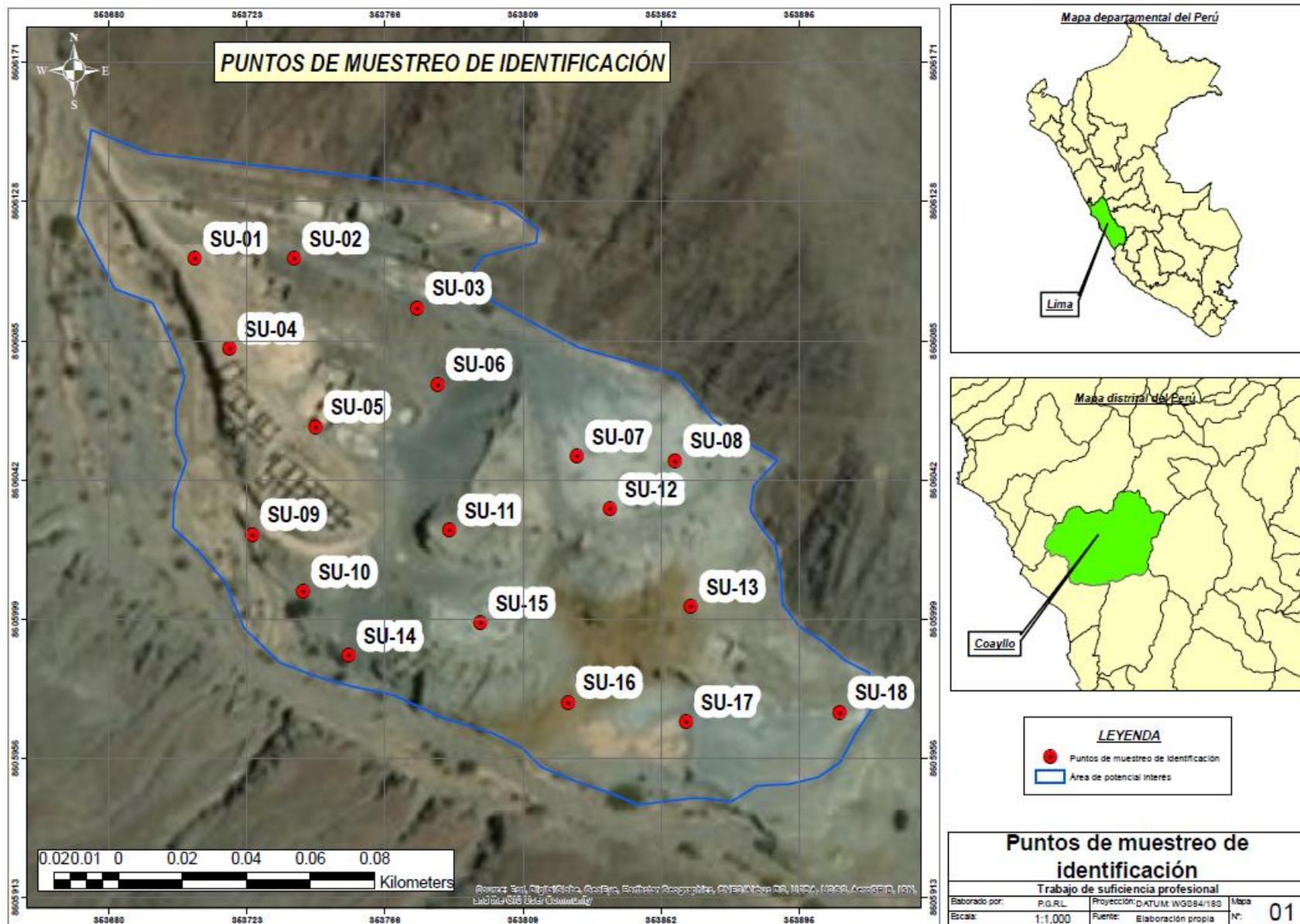
**Tabla 3.**

*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo de identificación.*

<b>ID</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Oeste</b>
<b>SU-01</b>	353706.69	8606110.49
<b>SU-02</b>	353737.62	8606110.45
<b>SU-03</b>	353775.92	8606095.10
<b>SU-04</b>	353717.42	8606082.57
<b>SU-05</b>	353744.36	8606058.42
<b>SU-06</b>	353782.37	8606071.53
<b>SU-07</b>	353825.77	8606049.29
<b>SU-08</b>	353856.25	8606047.99
<b>SU-09</b>	353724.59	8606025.11
<b>SU-10</b>	353740.43	8606007.50
<b>SU-11</b>	353786.01	8606026.53
<b>SU-12</b>	353835.94	8606033.07
<b>SU-13</b>	353861.24	8606002.99
<b>SU-14</b>	353754.59	8605987.77
<b>SU-15</b>	353795.64	8605997.87
<b>SU-16</b>	353822.93	8605973.29
<b>SU-17</b>	353859.67	8605967.32
<b>SU-18</b>	353907.59	8605970.20

Fuete: Elaboración propia.

**Figura 4.** Mapa de los puntos de muestreo de identificación



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. Diseño experimental

Las muestras de suelo contaminado fueron recolectadas de la mina Santa Rosa de cata S.A. a una profundidad de 15 cm en 18 puntos de 2.75 hectáreas de la mina que representa el área de influencia de los pasivos ambientales. Las muestras fueron recolectadas usando las respectivas medidas de seguridad como guantes, traje tyvek, mascarilla y zapatos de seguridad. Para la recolección de las muestras se usaron una pala, pico y bolsas siploc con su respectivo etiquetado de cada muestra.

Antes de la implementación del piloto se llevó a cabo los análisis de caracterización del suelo para determinar su textura, pH, CIC, Da, Dr y materia orgánica. La caracterización se hizo en el laboratorio de la UNTELS de edafología. También se le hizo un análisis de barrido de metales pesados ICP para determinar las concentraciones y los tipos de metales presentes en el suelo, el análisis de metales pesados se realizó en el laboratorio Labeco.

#### Resultados de caracterización

SUELO	TEXTURA	Da	Dr	PH	C.I.C	C.E
Contaminado con cobre	Franco arenoso	1.76 gr/cc	2.58 gr/cc	4.5	41.6 meq/100g	1.23 Ds/m

#### Interpretación de resultados

- ✓ La textura nos salió franco arenoso debido a que el suelo es proveniente de la costa y que también está influenciado por la contaminación de la minería.
- ✓ El **CIC<sub>T</sub>** de la muestra contaminado es 41.6meq/100g. suelo. El rango de CIC de suelos: 10 – 40 meq/100g., por lo tanto, es un suelo de elevado CIC debido al cobre que contiene el suelo y que esta está influenciada con el PH.
- ✓ La densidad real está relacionada directamente con la cantidad de los minerales que componen a la muestra, por lo que la cantidad

obtenida corrobora que debido al lado costero en el que se ubica a pesar de la contaminación, posee una alta densidad.

- ✓ En los resultados de laboratorio, obtuvimos la densidad aparente con un valor de 1.76 g/cc. Podríamos asumir, según tablas, nuestro suelo es arenoso.
- ✓ La conductividad eléctrica resulto ser 1.23 ds/m, esto nos indica que dentro de la escala de CE el suelo resulta ser NO SALINO ya que su rango está dentro de 0 a 2 ds/m.
- ✓ El pH nos salió muy alto (acido) debido a los contaminantes presentes en el suelo.

### Resultados del primer análisis de metales pesados en laboratorio

**Tabla 4.**

*Resultados de análisis de metales pesados.*

<u>CALIDAD DE SUELO</u>			
METALES ICP	Código de Laboratorio		0062-1
	Código de Cliente		SU-03
Parámetros	Unidad	L.D	Resultados
<b>Aluminio</b>	mg/kg	0,5	329,8
<b>Antimonio</b>	mg/kg	0,6	<0,6
<b>Arsénico</b>	mg/kg	1,4	<1,4
<b>Bario</b>	mg/kg	0,06	66,23
<b>Berilio</b>	mg/kg	0,01	<0,01
<b>Boro</b>	mg/kg	0,2	<0,2
<b>Cadmio</b>	mg/kg	0,02	6,90
<b>Calcio</b>	mg/kg	8	3326
<b>Cerio</b>	mg/kg	1,2	<1,2
<b>Cobalto</b>	mg/kg	0,06	<0,06
<b>Cobre</b>	mg/kg	0,09	5079,04
<b>Cromo</b>	mg/kg	0,08	14,30
<b>Estaño</b>	mg/kg	0,4	<0,4
<b>Estroncio</b>	mg/kg	0,08	<0,08
<b>Fósforo</b>	mg/kg	0,6	<0,6
<b>Hierro</b>	mg/kg	0,8	97028,8
<b>Litio</b>	mg/kg	0,4	<0,4
<b>Magnesio</b>	mg/kg	1,2	126,3
<b>Manganeso</b>	mg/kg	0,09	<0,09
<b>Molibdeno</b>	mg/kg	0,09	<0,09
<b>Níquel</b>	mg/kg	0,15	55,76
<b>Plata</b>	mg/kg	0,15	<0,15
<b>Plomo</b>	mg/kg	0,18	120,65
<b>Potasio</b>	mg/kg	7,00	<7,00

<b>Selenio</b>	mg/kg	1,2	<1,2
<b>Sílice</b>	mg/kg	0,8	43,4
<b>Sodio</b>	mg/kg	7	23
<b>Talio</b>	mg/kg	0,4	<0,4
<b>Titanio</b>	mg/kg	0,06	<0,06
<b>Vanadio</b>	mg/kg	0,4	<0,4
<b>Zinc</b>	mg/kg	0,8	1239,4

Fuente: resultados de laboratorio Labeco

Los metales pesados que superaron el estándar de calidad ambiental (ECA) en el análisis son los siguientes:

- Aluminio con 329,8 mg/kg
- Cobre con 5079,04 mg/kg
- Hierro con 97028,8 mg/kg
- Níquel 55,76 mg/kg
- Plomo 120,65 mg/kg
- Zinc 1239,4 mg/kg

El proyecto piloto se llevó a cabo en el laboratorio de edafología de la universidad UNTELS, se usaron semillas de girasol (*helianthus annuus*), suelo contaminada con metales pesados traídos de la mina de Santa Rosa de Cata, suelo no contaminado, compost y 20 maceteros. Se utilizaron 20 maceteros para realizar el diseño experimental de las cuales:

El proyecto piloto se llevó a cabo en el laboratorio de edafología de la universidad UNTELS, se usaron semillas de girasol (*helianthus annuus*), suelo contaminada con metales pesados traídos de la mina de Santa Rosa de Cata, suelo no contaminado, compost y 20 maceteros

Se utilizaron 20 maceteros para realizar el diseño experimental de las cuales:

### **Bloque 1**

- El tratamiento 1 (T1) consta de dos maceteros de suelo no contaminados de 1kg que representa el 100%.
- El tratamiento 2 (T2) consta de 2 maceteros con suelo contaminado con metales al 100% que representa 1kg.

- El tratamiento 3 (T3) consta de 2 maceteros de suelo sin contaminado 100 gr que representa el 10% más suelo contaminado con metales pesados 900gr que representa el 90%.
- El tratamiento 4 (T4) consta de 2 maceteros con suelo sin contaminado 200 gr que representa el 20% más suelo contaminado con metales 800 gr que representa el 80%.
- El tratamiento 5 (T5) consta de 2 maceteros con suelo sin contaminado 300 gr que representa el 30% más suelo contaminado con metales pesados 700 gr que representa el 70%.

## **Bloque 2**

- El tratamiento 6 (R1) consta de 2 maceteros de suelo sin contaminar 950 gr que representa el 95% mas 50 gr de compost que representa el 5%.
- El tratamiento 7 (R2) consta de 2 maceteros de suelo contaminado con metales pesados 950 gr que representa el 95% mas 50 gr de compost que representa el 5%.
- El tratamiento 8 (R3) consta de 2 maceteros de suelo contaminado con metales pesados 900 gr que representa el 90%, 50 gr de suelo no contaminado que representa el 5% y 50 gr de compost que representa el 5%.
- El tratamiento 9 (R4) consta de 2 maceteros de suelo contaminado con metales pesados 800 gr que representa el 80%, 150 gr de suelo no contaminado que representa el 15% y 50 gr de compost que representa el 5%.
- El tratamiento 10 (R5) consta de 2 maceteros de suelo contaminado con metales pesados 700 gr que representa el 70%, 250 gr de suelo no contaminado que representa el 25% y 50 gr de compost que representa el 5%.

### **Paso 1**

se realizó la mezcla homogénea de las 18 muestras de suelo contaminado con metales pesados en un recipiente. Una pequeña muestra de suelo contaminado con metales pesados se llevó al laboratorio para su análisis de barrido de metales pesados ICP.

**Figura 5.** homogenización de las muestras de suelo contaminado



Fuente: Elaboración propia

### **Paso 2**

Se procedió a pesar las muestras de suelo contaminado con metales pesados de 1000 gr, 950 gr, 900 gr, 850 gr, 800 gr, 700gr y los suelos no contaminados de 1000gr, 900 gr, 800 gr, 700 gr, 250 gr, 150 gr, 50 gr y el compost de 50 gr.

### **Paso 3**

Se procedió a mezclar el suelo contaminado con metales pesados, suelo no contaminado y el compost.

**Figura 6.** Mezcla de suelo contaminado con metales pesados más compost



Fuente: Elaboración propia

#### **Paso 4**

Después de haber colocado las muestras a diferentes concentraciones de suelo contaminado con metales pesados, suelo no contaminado y compost, se procedió a colocar las semillas de girasol a una profundidad de 4 a 6 cm en cada macetero.

#### **Paso 5**

Monitoreo diario una vez sembrado la semilla del girasol en cada macetero de diferentes concentraciones de suelo contaminado con metales pesados y compost.

### **3.2. Resultados**

Se muestreo cada semana los 20 maceteros durante los meses de enero a marzo tomando medidas de las raíces, tallos y el coteo de las hojas del cultivo de girasol *Helianthus annuus*. Las medidas tomadas fueron registradas en una tabla. También se realizó un segundo análisis de metales pesados en el tratamiento (T3) para determinar si el cultivo de girasol es fitorremediadora.

**Tabla 5.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 1.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE ENERO											
SEMANA 1 : Germinación											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).		Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		Resultados.		
			Raíz	Tallo	Número de hojas				Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b>	SSC 100%		4,4	--	--	<b>T6</b>	SSC 95% + Compost 5%		4,1	--	--
<b>(2 maceteros)</b>			cm			<b>(2 maceteros)</b>			cm		
<b>T2</b>	SC 100%		3,7	--	--	<b>T7</b>	SC 95 % + Compost 5%		4,4	--	--
<b>(2 maceteros)</b>			cm			<b>(2 maceteros)</b>			cm		
<b>T3</b>	SSC 10% + SC		3,8	--	--	<b>T8</b>	SC 90% + SSC 5% +		4,5	--	--
<b>(2 maceteros)</b>	90%		cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%		cm		
<b>T4</b>	SSC 20% + SC		4.6	--	--	<b>T9</b>	SC 80% + SSC 15% +		4,6	--	--
<b>(2 maceteros)</b>	80%		cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%		cm		
<b>T5</b>	SSC 30% + SC		4.7	--	--	<b>T10</b>	SC 70% + SSC 25% +		4,6	--	--
<b>(2 maceteros)</b>	70%		cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%		cm		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 2.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE ENERO											
SEMANA 2											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).		Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		Resultados.		
			Raíz	Tallo	Número de hojas				Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%		6,5 cm	2,3 cm	2	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%		6,4 cm	2, 5 cm	2
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%		6 cm	2,1 cm	2	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%		6,7 cm	2,4 cm	2
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%		5,9 cm	2,5 cm	2	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%		6,9 cm	2,6 cm	2
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%		6,3 cm	2,8 cm	2	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%		7,2 cm	3 cm	2
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%		6,7 cm	3,1 cm	2	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%		7 cm	3,4 cm	2

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 3.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE ENERO											
SEMANA 3											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).			Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.			
				Raíz	Tallo	Número de hojas					Raíz
<b>T1</b>	SSC 100%			7,8	3,9 cm	3	T6	SSC 95% + Compost 5%			
<b>(2 maceteros)</b>				cm			<b>(2 maceteros)</b>	cm			
<b>T2</b>	SC 100%			8 cm	4,2 cm	4	T7	SC 95 % + Compost 5%			
<b>(2 maceteros)</b>							<b>(2 maceteros)</b>	cm			
<b>T3</b>	SSC 10%	+	SC	7,4	3,9 cm	4	T8	SC 90%	+	SSC 5%	+
<b>(2 maceteros)</b>	90%			cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%			cm
<b>T4</b>	SSC 20%	+	SC	8,1	3,6 cm	3	T9	SC 80%	+	SSC 15%	+
<b>(2 maceteros)</b>	80%			cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%			cm
<b>T5</b>	SSC 30%	+	SC	8,4	4,5 cm	3	T10	SC 70%	+	SSC 25%	+
<b>(2 maceteros)</b>	70%			cm			<b>(2 maceteros)</b>	Compost 5%			cm

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 4.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE ENERO											
SEMANA 4											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).		Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		Resultados.		
			Raíz	Tallo	Número de hojas				Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%		8,5 cm	4,8 cm	4	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%		8,7 cm	4,6 cm	5
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%		9,2 cm	5,3 cm	6	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%		8,8 cm	4,4 cm	6
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%		8,4 cm	4,8 cm	5	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%		9,1 cm	5,2 cm	5
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%		9,4 cm	4,7 cm	5	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%		9,7 cm	5,7 cm	5
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%		9,7 cm	4,7 cm	5	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%		9,5 cm	6cm	5

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 5.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES									
MES DE FEBRERO									
SEMANA 5									
BLOQUE 1					BLOQUE 2				
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).	Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.	Resultados.		
		Raíz	Tallo	Número de hojas			Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%	11 cm	6,2 cm	6	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%	10,5 cm	5.9 cm	6
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%	12,3 cm	7,2 cm	7	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%	10,7 cm	6,1 cm	7
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%	11,5 cm	6,3 cm	6	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%	11,8 cm	7,1 cm	6
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%	11,9 cm	6,1 cm	7	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%	12,4 cm	7,6 cm	7
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%	12,2 cm	6,1 cm	6	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%	12,1 cm	8 cm	6

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 6.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE FEBRERO											
SEMANA 6											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).		Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		Resultados.		
			Raíz	Tallo	Número de hojas				Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%		13,5 cm	8,2 cm	7	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%		13 cm	7.9 cm	7
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%		14,3 cm	9,2 cm	8	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%		13,4 cm	8,4 cm	8
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%		13,9 cm	9 cm	7	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%		13 cm	9,6 cm	7
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%		14,4 cm	8,4 cm	8	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%		14,5 cm	10,2 cm	8
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%		14,9 cm	8,8 cm	7	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%		14,7 cm	10 cm	7

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 7.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES											
MES DE FEBRERO											
SEMANA 7											
BLOQUE 1					BLOQUE 2						
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).		Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		Resultados.		
			Raíz	Tallo	Número de hojas				Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%		16,5 cm	11 cm	8	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%		15,8 cm	11 cm	8
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%		17,3 cm	11,7 cm	7	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%		16,2 cm	12 cm	7
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%		15,9 cm	11,3 cm	9	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%		16 cm	12,6 cm	9
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%		16 cm	9,9 cm	7	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%		17,2 cm	13,5 cm	7
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%		17,4 cm	11,3 cm	8	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%		17,5 cm	13,7 cm	9

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12.**

*Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 8.*

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES													
MES DE FEBRERO													
SEMANA 8													
BLOQUE 1					BLOQUE 2								
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).			Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.					
				Raíz	Tallo	Número de hojas					Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%			20,8 cm	13,4 cm	9	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%			19 cm	14,6 cm	9
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%			21,7 cm	14,9 cm	9	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%			19,8c m	15,5 cm	9
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC	90%		20,4 cm	14,7 cm	10	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%	20 cm		15,8 cm	10	
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC	80%		20 cm	14 cm	9	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%	20 cm		16,5 cm	9	
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC	70%		21,4 cm	14,8 cm	10	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%	20,5 cm		17 cm	10	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13.**

Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 9.

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES													
MES DE MARZO													
SEMANA 9													
BLOQUE 1					BLOQUE 2								
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).			Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.					
				Raíz	Tallo	Número de hojas					Raíz	Tallo	Número de hojas
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%			23,9 cm	16,4 cm	10	T6  (2 maceteros)	SSC 95% + Compost 5%			22,4 cm	17,6 cm	10
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%			24,8 cm	17,9 cm	10	T7  (2 maceteros)	SC 95 % + Compost 5%			23 cm	18,9 cm	10
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%			23,4 cm	17,7 cm	11	T8  (2 maceteros)	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%			23,5 cm	19 cm	11
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%			23,5 cm	17,3 cm	10	T9  (2 maceteros)	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%			23,8 cm	19,9 cm	10
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%			24,4 cm	18 cm	11	T10  (2 maceteros)	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%			24,2 cm	21 cm	11

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14.**

*Resultados del monitoreo del cultivo de girasol, semana 10.*

RESULTADOS DEL MONITOREO SEMANAL DEL CULTIVO DE GIRASOL ( <i>Helianthus annuus</i> ) EN 3 MESES										
MES DE MARZO										
SEMANA 10										
BLOQUE 1					BLOQUE 2					
Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC) y suelo sin contaminar (SSC).			Resultados.			Tratamiento en Maceteros.	Porcentajes de suelo contaminado (SC), suelo sin contaminar (SSC) y compost.		
	Raíz	Tallo	Número de hojas	Raíz	Tallo	Número de hojas				
<b>T1</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 100%	27	20,6	10	T6	SSC 95% + Compost 5%	25,8	21 cm	10	
		cm	cm		(2 maceteros)		cm			
<b>T2</b> <b>(2 maceteros)</b>	SC 100%	28,3	22 cm	10	T7	SC 95 % + Compost 5%	26,2	22,3 cm	10	
		cm			(2 maceteros)		cm			
<b>T3</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 10% + SC 90%	27,3	21,7	11	T8	SC 90% + SSC 5% + Compost 5%	27,2	23 cm	11	
		cm	cm		(2 maceteros)		cm			
<b>T4</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 20% + SC 80%	27	21,4	10	T9	SC 80% + SSC 15% + Compost 5%	27,5	23,8 cm	11	
		cm	cm		(2 maceteros)		cm			
<b>T5</b> <b>(2 maceteros)</b>	SSC 30% + SC 70%	28,5	23,3	11	T10	SC 70% + SSC 25% + Compost 5%	28,3	24,5 cm	11	
		cm	cm		(2 maceteros)		cm			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15.**

Resultado del segundo análisis de los metales pesados.

<b>CALIDAD DE SUELO</b>			
<b>Código de Laboratorio</b>	<b>0868-1</b>	<b>Límite Detección</b>	<b>Unidad</b>
<b>Código de Cliente</b>	<b>SU-0T3</b>		
<b>Metales Totales</b>			
<b>Aluminio</b>	309,9	0,5	mg/Kg
<b>Cobre</b>	4510,92	2,00	mg/kg
<b>Hierro</b>	135209,61	3,00	mg/Kg
<b>Níquel</b>	54,64	2,50	mg/kg
<b>Plomo</b>	118,04	3,00	mg/kg
<b>Zinc</b>	1229,59	1,50	mg/kg

Fuente: elaboración propia

- En los primeros días las semillas fueron remojadas en agua por lo cual se aprecia en los resultados de la tabla 4 sólo el crecimiento de las raíces con un crecimiento promedio de 4 cm tanto en el bloque 1 y 2.
- En la segunda semana se puede apreciar en los resultados de la tabla 5 los primeros brotes del tallo, pares de hojas y las raíces con un crecimiento mayor de 6,5 cm. El cultivo con mayor tallo de 3,4 cm fue el tratamiento 10, esto es debido a que tiene mejores condiciones de suelo sin contaminar con (SSC) 25%, materia orgánica 5%, para que pueda crecer en un suelo contaminado con metales SC 70%.
- Durante las 10 semanas monitoreadas se observó que el cultivo del girasol cultivado en diferentes tratamientos llegó hasta el estadio principal 3 código 30 del crecimiento longitudinal del tallo.
- Se puede apreciar que en el tratamiento 10 tuvo mayor crecimiento en altura del tallo del cultivo girasol en comparación de los otros tratamientos durante las 10 semanas monitoreadas.
- En la segunda semana de monitoreo se pudo apreciar que los 10 tratamientos presentaron una coloración amarillenta en el ápice de la hoja y no hubo

visualización de los nervios en un par de hojas en el tratamiento (T3) a comparación de sus otros dos pares de hojas que si presentaban visualización de los nervios de la hoja del cultivo de girasol.

- Durante las 10 semanas monitoreadas se pudo apreciar que los tratamientos (T5) y tratamiento (T10) tuvieron mejor resultados en el crecimiento de raíz, tallo y cantidad de hojas, sin embargo, en los tratamientos (T1) y (T7) se pudo apreciar que el crecimiento de la raíz, tallo, y cantidad de hojas fue muy lento.
- En el tratamiento (T1) se pudo visualizar dos pares de hojas de más grandes y con pigmentación amarilla en comparación de sus demás hojas del cultivo de girasol de ese tratamiento.
- Durante los 2 meses y medio de monitoreo del cultivo de girasol se pudo apreciar que llego hasta el estadio fenológico 3 código 30 crecimiento longitudinal del tallo, se pudo apreciar en el tratamiento (T3) presentó un tallo débil y con curvaturas a comparación del tratamiento (T6) que tuvo un crecimiento de tallo fuerte y recto sin curvaturas.
- El tratamiento (T3) luego de ser monitoreado durante 2 meses y 2 semanas con el cultivo de girasol, se realizó un segundo análisis de metales pesados de suelo en el laboratorio, obteniendo como resultado una reducción de los metales pesados que se encontraban en alta concentración. En Aluminio al principio con una concentración de 329,8 mg/kg ahora con 309,9 mg/kg; Cobre al principio con una concentración de 5079,04 mg/kg ahora con 4510,92 mg/kg; Níquel al principio con una concentración de 55,76 mg/kg ahora con 54,64 mg/kg; Plomo al principio con una concentración de 120,65 mg/kg ahora con 118,04 mg/kg; Zinc al principio con una concentración de 1239,4 mg/kg ahora con 1229,59 mg/kg.

## CONCLUSIONES

Luego de haber culminado las evaluaciones sobre los efectos de los metales pesados en la fenología del cultivo de girasol se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los metales pesados afectan en el estadio fenológico principal 0 (germinación), que va desde 00 a 09 del girasol (*Helianthus annuus*) que fueron cultivados en suelos contaminados, ya que en este estadio las plántulas deberían sobresalir en la superficie del suelo, pero sin embargo según nuestro resultado aún no ha emergido dicha plántula, es decir se ha visto muy afectada, así mismo en el estadio principal 1 (desarrollo de las hojas) que va desde el código 10 al 19, se han visto retrasados en las plantas cultivadas en los suelos contaminados.
- El efecto en las características morfológicas de las distintas concentraciones de los metales pesados se vio en el tratamiento (T5) y tratamiento (T10), que contaban con menor concentración de metales pesados observando un crecimiento acelerado del cultivo de girasol sin embargo en el tratamiento (1) y tratamiento (7) con suelos con mayor concentración de metales pesados, el crecimiento fue más lento. Se observó pigmentación amarillenta en cierta parte del ápice de las hojas de todos los tratamientos, no hubo visualización de los nervios de las hojas y hubo diferenciación de tamaño de hojas en el tratamiento (T3).
- El efecto de los metales pesados en la morfología del cultivo de girasol cultivado en suelos contaminados a diferentes concentraciones con metales pesados y con un 5% de materia orgánica presentó también pigmentación amarillenta en algunas partes del ápice de las hojas, no se pudo visualizar en algunas hojas los nervios y una diferenciación de tamaño en hojas pero si logra tener mejor característica morfológicas y también un mejor desarrollo en comparación a los tratamientos que se encuentra sin materia orgánica, gracias a la influencia de la materia orgánica y debido a la mejor biodisponibilidad de los metales ya que el girasol es una planta fitorremediadora que debido a ello pudo reducir la concentración de algunos metales que se encontraban en mayor concentración en el suelo.

## RECOMENDACIONES

- Continuar con los estudios en todos los estadios fenológicos del cultivo de girasol, para poder evaluar mejor los efectos de los metales pesados, ya que este trabajo solo se pudo determinar los efectos fenológicos hasta el estadio fenológico 3 código 30.
- Para que el cultivo de girasol tenga un correcto desarrollo fenológico se recomienda darle las condiciones óptimas de aireación, nutrición y condiciones de clima. Así mismo para que la fitorremediación sea significativo con el cultivo de girasol en suelos contaminados por metales pesados es recomendable realizarlo durante 6 meses de monitoreo.
- El cultivo de girasol es una planta que requiere condiciones de humedad permanente para que tenga un correcto desarrollo de los distintos estadios de crecimiento es preferible cultivar en época de primavera.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blog de la Defensoría del Pueblo. (2017). *Pasivos ambientales*. Perú: Defensoría del Pueblo. Recuperado de <https://www.defensoria.gob.pe>
- Concepción, S. (2009), *Estrés por uranio en plantas. acumulación en especies vegetales de zonas mineras y estudio de respuestas fisiológicas en remolacha (Beta vulgaris)* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Cornejo, F. (2017), *Incorporación de materia orgánica en el cultivo de cebolla (Allium Cepa L.) cv. "roja perilla" y su efecto en la presencia de metales pesados y patógenos en los suelos de la irrigación zamácola – Arequipa* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.
- Enz y Dachler (1998), *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas. escala BBCH extendida*. Alemania.
- Gómez T. (2015), *Análisis de producción de tioles de bajo peso molecular en respuesta a varias concentraciones de adsorción de Cr(VI) en H annuus como mecanismo de defensa para conocer la concentración máxima de tolerancia* (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional. Silao, México.
- Municipalidad distrital de Mala. (2016). Actividades económicas. Recuperado de <http://munimala.gob.pe>.
- Sánchez, M. (2017), *Evaluación del contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Tenasco, C. (2015), *Fenología y profundidad radical del cultivo de girasol (helianthus annuus) var. sunbright en el sector querochaca, cantón cevallos, provincia de Tungurahua* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

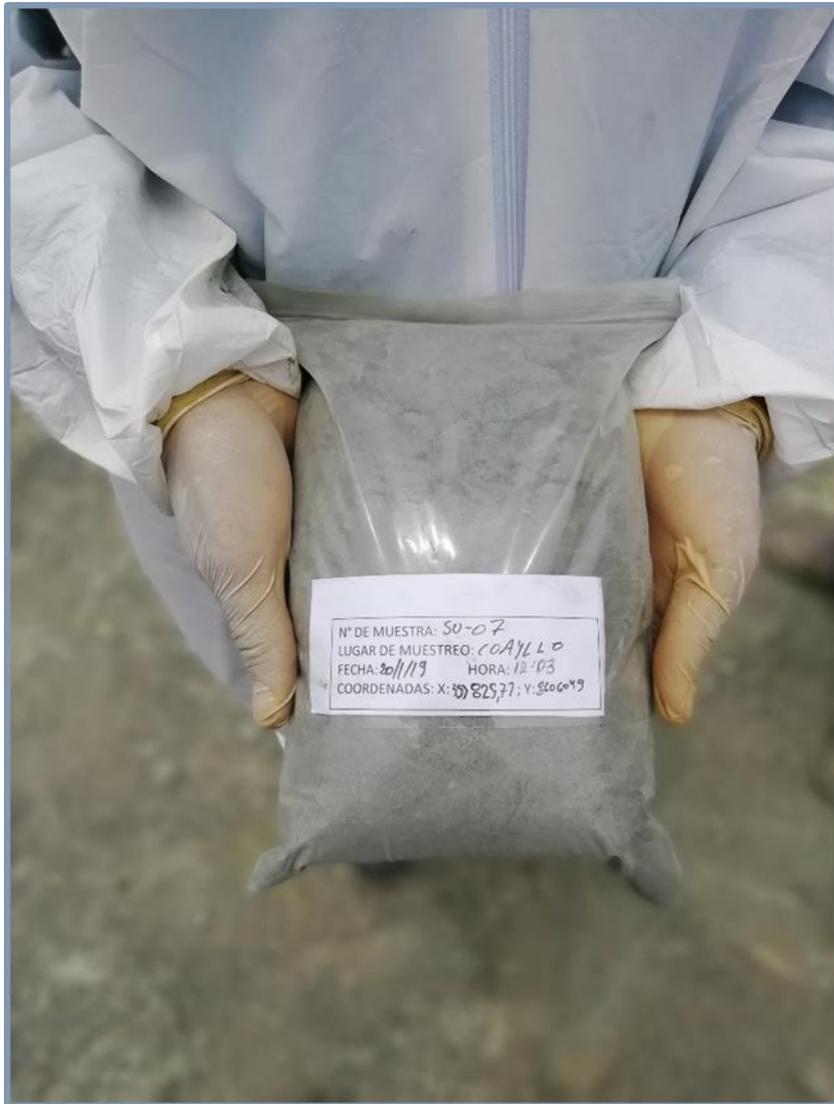
- Vargas, X. (2012), *Capacidad de absorción de plomo del girasol ornamental (helianthus annuus L.) con la adición de ácidos húmicos de leonardita* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
- Vargas, D. (2017), *Metales pesados en suelos cultivados con riego y sin riego en la comunidad de Ñaupapampa del distrito de Asillo – Puno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Ynfa, J. (2017), *Efecto del relave minero en la respiración potencial y la actividad enzimática del suelo y su relación con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas de maíz (Zea mays L.) c.v. Cabanita y bioacumulación de metales pesados* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Recolección de Muestras



## Anexo 2: Etiquetado de Muestras.



### Anexo 3: primer Informe de Ensayo de Laboratorio

# LABECO

ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L.

## INFORME DE ENSAYO N° 0062-19<sup>1</sup>

**Solicitante** : PETER ROCA LINAN  
**Dirección del Solicitante** : Mz. "A" Lote "20" Edilberto Ramos Villa El Salvador  
**Atención** : Peter Roca Liñan  
**Proyecto** : Iesina  
**Lugar de Muestreo** : Coaytto  
**Tipo de Muestra** : Suelo  
**Fecha de Monitoreo** : 20/01/19  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 22/01/19  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 22/01/19  
**Fecha de Término de Análisis** : 23/01/19

### CALIDAD DE SUELO

METALES ICP	Código de Laboratorio		0062-1
	Código de Cliente		SU-03
Parámetros	Unidad	L.D	Resultados
Aluminio	mg/kg	0,5	329,8
Antimonio	mg/kg	0,6	<0,6
Arsénico	mg/kg	1,4	<1,4
Bario	mg/kg	0,06	66,23
Berilio	mg/kg	0,01	<0,01
Boro	mg/kg	0,2	<0,2
Cadmio	mg/kg	0,02	6,90
Calcio	mg/kg	8	3326
Cerio	mg/kg	1,2	<1,2
Cobalto	mg/kg	0,06	<0,06
Cobre	mg/kg	0,09	5079,04
Cromo	mg/kg	0,08	14,30
Estaño	mg/kg	0,4	<0,4
Estroncio	mg/kg	0,08	<0,08
Fósforo	mg/kg	0,6	<0,6
Hierro	mg/kg	0,8	97028,8
Litio	mg/kg	0,4	<0,4
Magnesio	mg/kg	1,2	126,3
Manganeso	mg/kg	0,09	<0,09
Molibdeno	mg/kg	0,09	<0,09
Niquel	mg/kg	0,15	55,76
Plata	mg/kg	0,16	<0,16
Plomo	mg/kg	0,18	120,65
Potasio	mg/kg	7,00	<7,00
Selenio	mg/kg	1,2	<1,2
Silice	mg/kg	0,8	43,4
Sodio	mg/kg	7	23
Talio	mg/kg	0,4	<0,4
Titanio	mg/kg	0,06	<0,06
Vanadio	mg/kg	0,4	<0,4
Zinc	mg/kg	0,8	1239,4

\*EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE\*

LB-F-14

1 de 2  
Revisión: 21

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
 Surquillo - Lima  
 Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
 web: www.labecoperu.com  
 e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

# LABECO

ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L.

- Muestra Tomada por el cliente.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el cliente.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.

**Método de Análisis:**

Metales ICP: EPA 200.7, Determination of Metals and Trace Elements in water and Wastes and Wastes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry.



**Quim. Víctor Alberto Huamani León**

CQP N° 1165

Director Técnico

**Lima, 28 de Enero de 2019.**

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente informe de Ensayo.

Nota 4: El laboratorio declara la validez del presente Informe de Ensayo por el periodo de un año, para los fines que el cliente estime conveniente.

Nota 5: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con la declaración "Suplemento al Informe de ensayo"

Nota 6: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente Informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.

Nota 7: Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota 10: El superíndice "T" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del Alcance de Acreditación.

---0000000---

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE.

LB-F-14

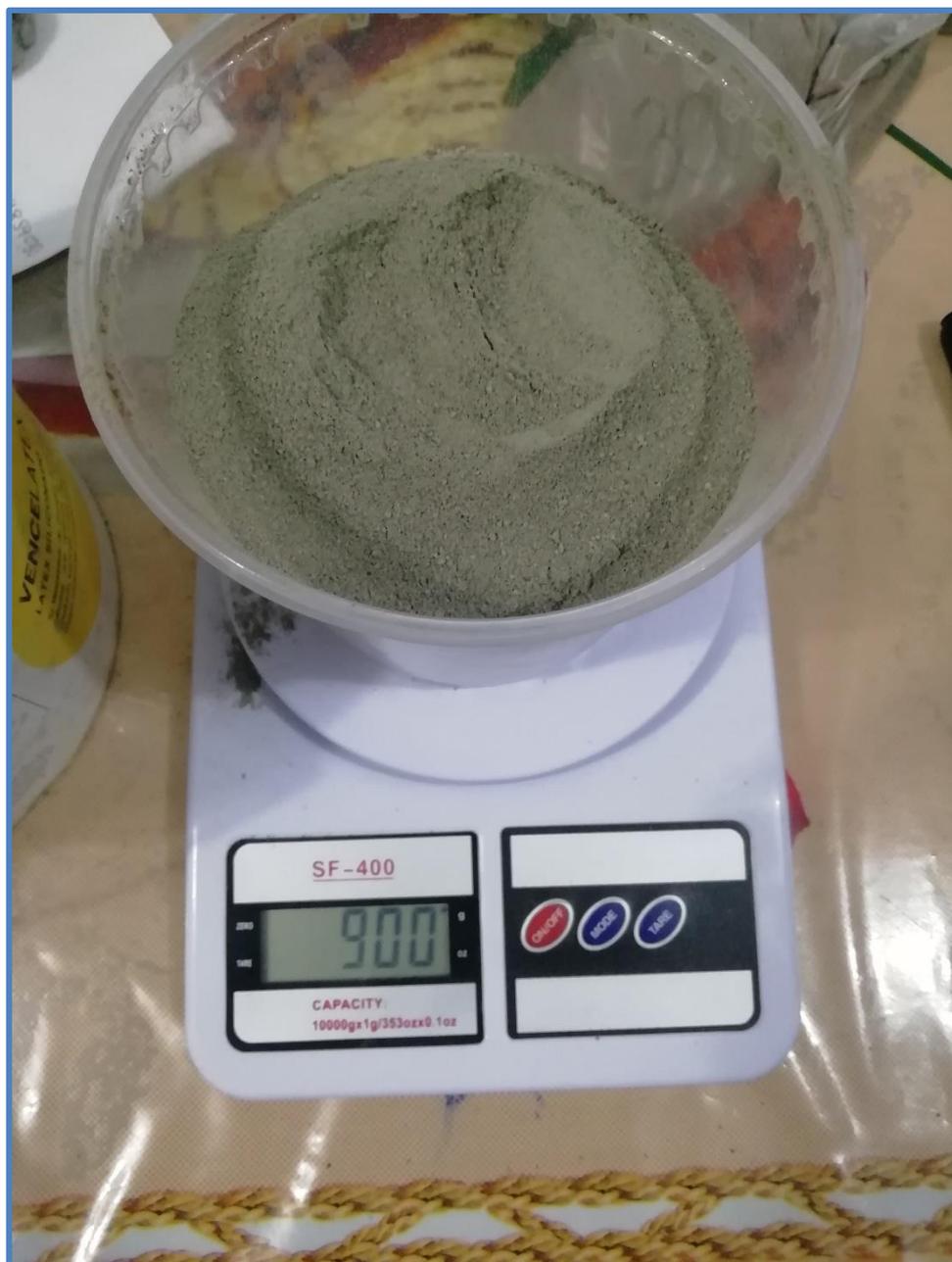
Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
Surquillo - Lima  
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
web: www.labecoperu.com  
e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

2 de 2  
Revisión: 21

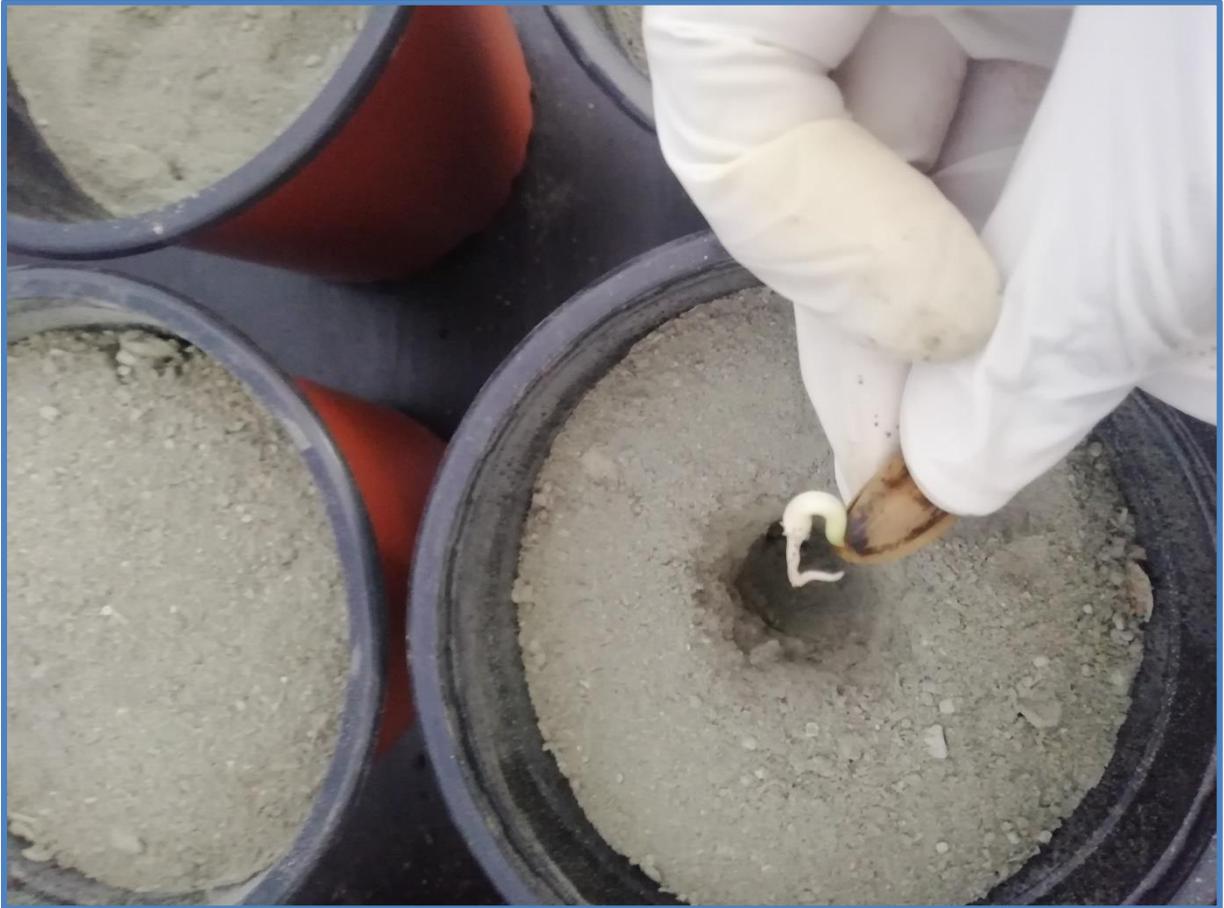
#### Anexo 4: Determinación del PH del suelo



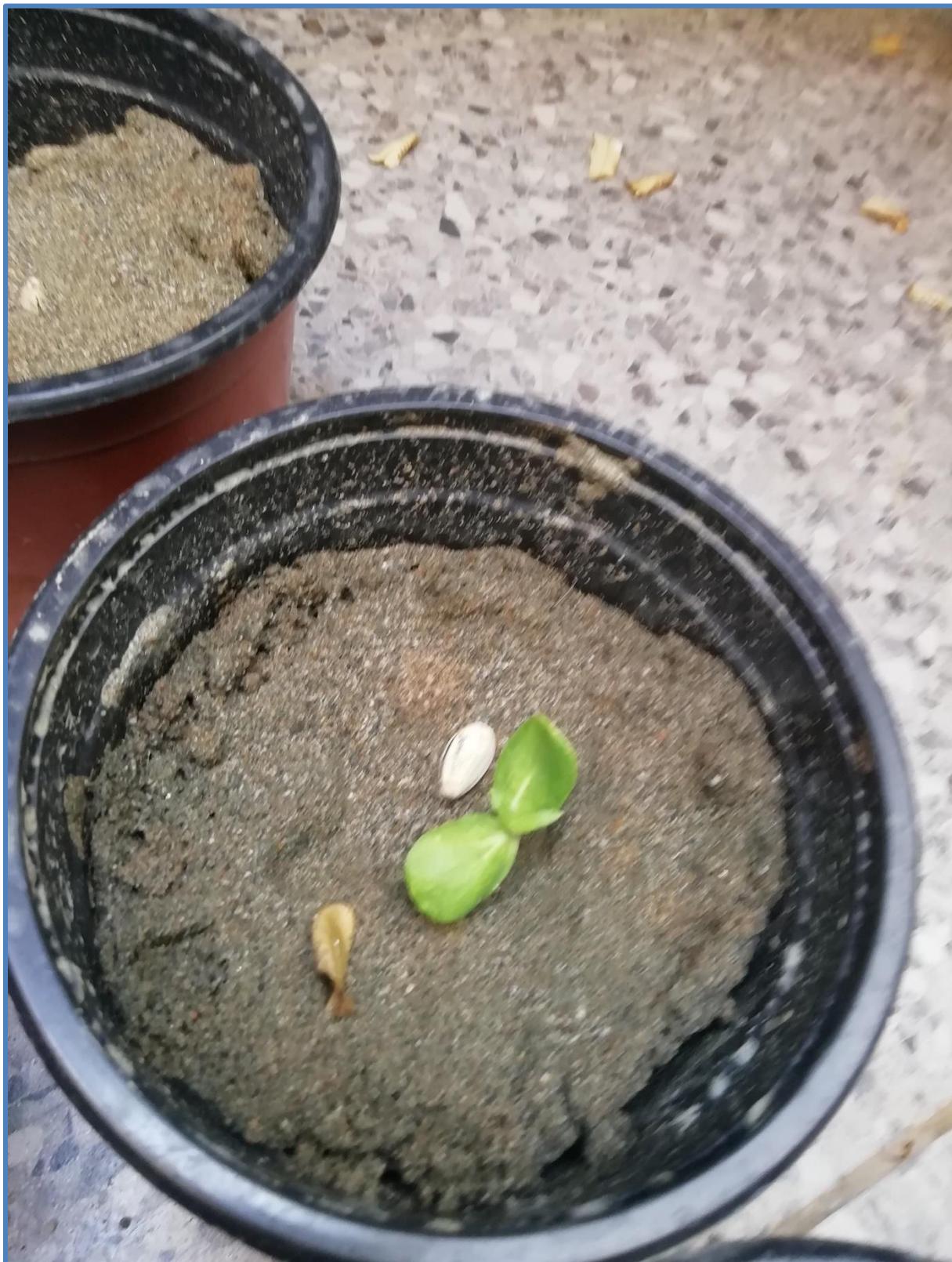
## Anexo 5: Pesado de Suelo Contaminado con Metales Pesados



## Anexo 6: Primera Semana de Germinación



## Anexo 7: Crecimiento a 2 semanas



### Anexo 8: Crecimiento a 4 semanas



## Anexo 9: Segundo informe de ensayo de laboratorio.

# LABECO

ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L.

### INFORME DE ENSAYO N° 0868-19<sup>1</sup>

**Solicitante** : PETER ROCA LIÑAN  
**Dirección del Solicitante** : Mz. "A" Lote20 Edilberto Ramos GP 1 - Villa El Salvador  
**Atención** : UNTELS  
**Proyecto** : Tesina  
**Plan de Muestreo** : Fitorremediación  
**Lugar de Muestreo** : Coayllo  
**Tipo de Muestra** : Suelo  
**Fecha de Monitoreo** : 04/06/19  
**Fecha de Recepción de Muestra** : 04/06/19  
**Fecha de Inicio de Análisis** : 04/06/19  
**Fecha de Término de Análisis** : 07/06/19

#### CALIDAD DE SUELO

Código de Laboratorio	0868-1	Límite Detección	Unidad
Código de Cliente	SU-001		
<b>Metales Totales</b>			
Aluminio	309,9	0,5	mg/Kg
Cobre	4510,92	2,00	mg/kg
Hierro	135209,61	3,00	mg/Kg
Niquel	54,64	2,50	mg/kg
Plomo	118,04	3,00	mg/kg
Zinc	1229,59	1,50	mg/kg

- Muestra tomada por el cliente.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el cliente.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.

#### Método de Análisis:

Aluminio: EPA 200.7, Determination of Metals and Trace Elements in water and Wastes and Wastes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry.

Cu: EPA 3050B Rev. 02, December 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. / EPA 7000B Rev. 02, February 2007, Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

Fe: EPA 3050B Rev. 02, December 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. / EPA 7000B Rev. 02, February 2007, Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

Ni: EPA 3050B Rev. 02 December 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. EPA 7000B Rev. 02, February 2007, Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

Pb: EPA 3050B Rev. 02 December 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. / EPA 7000B Rev. 02, February 2007, Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

Zn: EPA 3050B Rev. 02 December 1996, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. / EPA 7000B Rev. 02, February 2007, Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.

LB-F-14

1 de 2  
Revisión: 21

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
Surquillo - Lima  
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
web: www.labecoperu.com  
e-mail: labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

# **LABECO**

**ANALISIS AMBIENTALES S.C.R.L.**



**Quim. Cecilia Gonzalez Alday**

CQP N° 1096

Supervisor de Emisión de  
Ensayo F/Q

**Lima, 10 de Junio de 2019.**

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.

Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".

Nota 3: La(s) muestra(s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.

Nota 4: El laboratorio declara la validez del presente Informe de Ensayo por el periodo de un año, para los fines que el cliente estime conveniente.

Nota 5: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con la declaración "Suplemento al Informe de ensayo"

Nota 6: Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.

Nota 7: Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.

Nota 10: El superíndice "T" perteneciente al título de Informe de Ensayo se está considerando para los parámetros que no estén dentro del alcance de acreditación.

---oooOooo---

“EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

LB-F-14

2 de 2  
Revisión: 21

Av. Victor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico  
Surquillo - Lima  
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987  
web: [www.labecoperu.com](http://www.labecoperu.com)  
e-mail: [labeco@labecoperu.com](mailto:labeco@labecoperu.com), [labecoperu@gmail.com](mailto:labecoperu@gmail.com)