

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN - FIG
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



“RECUPERACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO CON Zn MEDIANTE LA ELECTORREMEDIACIÓN DE LA EX - MINA SANTA ROSA DE CATA DE CAÑETE”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

LLANCARI QUISPE, BREHMER EUSEBIO

Villa El Salvador

2018

DEDICATORIA

A Dios por la vida y salud, porque bendice y guía mis pasos cada día de mi vida, cada proyecto que realizo y por haberme dado una hermosa familia.

A mis padres Nancy Quispe y Alejandro Llancari, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, a lo largo de toda mi formación personal y profesional.

Al resto de mi familia, hermana, abuelitos, tías, tíos, primos y primas por sus consejos, motivación y apoyo incondicional.

A la única persona que me hizo despertar el más maravilloso sentimiento en esta vida y a quien aprecio muchísimo, Jaqueline Ayquel.

Brehmer Eusebio Llancari Quispe

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su amor y guía en cada logro que he obtenido en mi proyecto de vida.
Gracias Señor por todo.

A mis padres por todo su esfuerzo, amor y comprensión. Mi admiración, respeto, amor y apoyo incondicional para ustedes siempre.

A la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) , a la Escuela de Ingeniería Ambiental, a mi asesor, a todos mis profesores por brindarme la formación profesional, los conocimientos, consejos y su experiencia.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE	iii
LISTADO DE FIGURAS	vi
LISTADO DE TABLAS	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Justificación del problema	6
1.3. Delimitación del proyecto	8
1.3.1. Temporal.....	8
1.3.2. Espacial.....	8
1.4. Formulación del problema.....	10
1.4.1. Problema General	10
1.4.2. Problemas Específicos	10
1.5. Objetivos	11
1.5.1. Objetivo general.....	11
1.5.2. Objetivo específico	11
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	12
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	13
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	16
2.2. Bases Teóricas.....	18

2.2.1. Electrorremediación	18
2.2.2. Fundamentos del proceso electrocinético	19
2.2.3. Mecanismos de remoción.....	21
2.2.4. Factores que influyen en la electrorremediación	23
2.2.5. Suelo...	28
2.2.6. Importancia del suelo...	28
2.2.7. Contaminación del suelo con metales pesados.....	29
2.2.8. Fuentes antropogénicas de contaminación	29
2.2.9. Poder depurador del suelo...	30
2.2.10. Formas de presentación de los contaminantes en el suelo...	31
2.2.11. Parámetros que influyen en la movilidad de los contaminantes en el suelo...	31
2.2.12. Metales pesados.....	32
2.2.13. Zinc.....	32
2.3. Marco conceptual.....	34
CAPITULO III: DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	41
3.1. Análisis del sistema.....	41
3.2. Diseño y construcción del sistema	43
3.2.1. Ubicación	43
3.2.2. Materiales y equipos.....	44
3.2.3. Diseño del sistema de tratamiento	45
3.2.3.1. Descripción del sistema de tratamiento.....	45
3.2.3.2. Diseño y construcción del sistema de tratamiento.....	46
3.2.3.3. Estudio de la muestra.....	47
3.2.3.4. Elaboración del electrolito	47

3.2.3.5. Medición de pH de la muestra.....	48
3.2.3.6. Preparación de la muestra con agente humectante	49
3.2.3.7. Calibración de la fuente de poder.....	49
3.3. Resultados.....	52
3.3.1. Concentración de Zn en el suelo según el tiempo de humectación	52
3.3.2. Concentración de Zn en el suelo según la distancia entre electrodos	53
3.3.3. Concentración de Zn en el suelo según el tipo de electrolito	53
3.3.4. Concentración de Zn en el suelo sin tratamiento	54
3.3.5. Concentración de Zn en el suelo con tratamiento.....	54
3.3.6. pH del suelo sin tratamiento	55
3.3.7. pH del suelo con tratamiento	55
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	65

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.....	9
Figura 2. Delimitación de la zona en estudio	9
Figura 3. Esquema básico del proceso de electrorremediación.....	18
Figura 4. Migración de iones durante la electrorremediación de suelos	19
Figura 5. Movilización de los frentes ácido y básico.....	21
Figura 6. Mecanismos de transporte durante la electrorremediación.....	23
Figura 7. Estado físico de los contaminantes en suelos y sedimentos.....	31
Figura 8. Laboratorio de la UNTELS.....	43
Figura 9. Preparación en cámara extractora de gases.....	48
Figura 10. Puesta en marcha del sistema de remediación.....	51

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Principales Actividades Generadoras de Contaminación en Suelos.....	30
Tabla 2. Metales Tóxicos de Interés.....	32
Tabla 3. Condiciones de Trabajo para cada Tratamiento.....	52
Tabla 4. Condiciones de Trabajo para el Tiempo de Humectación, T1 y T2	52
Tabla 5. Condiciones de Trabajo para la Distancia entre Electrodo, T1 y T2.....	53
Tabla 6. Condiciones de Trabajo para el Tipo de Electrolito, T1 y T2.....	53
Tabla 7. Resultado de Análisis de Laboratorio Antes del Tratamiento	54
Tabla 8. Resultado de Análisis de Laboratorio para el T1	54
Tabla 9. Resultado de Análisis de Laboratorio para el T2.....	54
Tabla 10. Resultado de Análisis de Laboratorio Antes del Tratamiento (pH).....	55
Tabla 11. Resultado de Análisis Experimental Después del Tratamiento (pH)	55

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el suelo es un recurso primordial, del cual depende la salud de la especie humana, la especie animal y la vegetación que lo habitan, así como las potencialidades de la evolución económica y social de las poblaciones que se benefician de este (Guerrero y Pineda, 2016).

Por otra parte, la extracción minera viene generando impactos al medio ambiente y causando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el hábitat de las plantas y riesgos en la salud humana (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana y Campos, 2006).

Por tanto, desde la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) mediante D.S. N° 011-2017-MINAM, en el Perú, la vigilancia del recurso suelo se basa en el establecimiento de estándares de calidad según los usos del suelo, que sirven de base para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental (D.S. N° 011-2017-MINAM, 2017). Así mismo, las guías de aplicación aprobadas por el Ministerio del Ambiente mediante Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM y Resolución Ministerial N° 034-2015-MINAM.

En la zona de relaves ocasionado por la minería ilegal de la ex-Mina Santa Rosa de Cata, ubicado cerca del centro poblado de Santa Rosa de Cata, del distrito de San Pedro de Coaylo, perteneciente a la provincia de Cañete, del departamento de Lima, se realizó una toma de muestras en un trabajo de campo llamado “Identificación del sitio contaminado” los cuales fueron llevados a laboratorio indicando que excedía los

parámetros de la concentración de Zn en el suelo, por ello en el presente proyecto se tiene por objetivo diseñar y evaluar la eficiencia de la técnica de electrorremediación como alternativa para reducir la concentración del Zn en el suelo. Además, se evaluaron las propiedades físicas del suelo como: pH, conductividad eléctrica, densidad aparente y textura (Arena, lima, arcilla).

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En los últimos años, el crecimiento de la actividad minera en el Perú ha contribuido al desarrollo económico del país; no obstante, la práctica de la minería, particularmente, la minería informal ha generado impactos ambientales en la calidad de suelo, por eso, han sido motivos de preocupación para las poblaciones campesinas y la sociedad en general.

En este sentido, con el D.S. N° 011-2017-MINAM, se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Esta norma entro en vigencia desde el 2 de Diciembre del 2017, lo que beneficiará significativamente la calidad de vida humana y el ambiente. De igual importancia, los estándares de calidad del suelo son indicadores primordiales para la elaboración y ejecución de planes de prevención de contaminación de suelo.

Según lo mencionado por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) los cuales forman parte del anexo del D.S. N° 011-2017-MINAM.

Por otra parte, las actividades económicas realizadas por personas naturales y jurídicas que sobrepasen los parámetros de calidad del suelo estarán sujetas a realizar acciones de evaluación y recuperación de sitios contaminados para cuidar el ambiente y la salud de la población (D.S. N° 011-2017-MINAM, 2017).

Ante todo, los valores de ECA para suelo se fundamentan en un estudio de los parámetros que afectan el medio ambiente y las salud de la población, y se centran en los últimos análisis e indagaciones científicas, así como, en los estándares que establecen los organismos internacionales que son un referente para los países a nivel mundial (MINAM, 2017).

Los planes de descontaminación y de tratamiento de pasivos ambientales están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes. El Plan debe considerar su financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental (Ley N° 28611, 2005).

Como parte del desarrollo del presente proyecto de investigación se obtuvieron las muestras representativas de un trabajo de campo llamado “Identificación del sitio contaminado”, realizado el 09 de Febrero del 2018 en una ex-Mina informal localizado cerca del centro poblado Santa Rosa de Cata. En el trabajo de campo se toma 4 sub muestras de la zona afectada para luego obtener una muestra representativa del sitio por la técnica de cuarteo de suelos. Luego, la muestra obtenida fue analizada por un laboratorio acreditado Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB) indicando como resultado del análisis, el exceso de la concentración de Zn en el suelo.

En este sentido, se diseñó e implementó un sistema de remediación en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), que consiste en una técnica de electrorremediación para reducir o eliminar la concentración de Zn en el suelo, orientado al cumplimiento de los reglamentos técnico-normativo establecidos en la normativa nacional vigente (D.S. N° 011-2017-MINAM) y al uso referencial de la normativa internacional *Canadian Environmental Quality Guidelines* (CEQG).

1.2. Justificación del problema

La importancia del presente proyecto es brindar una alternativa de solución para el tratamiento del suelo, que sobrepasa los estándares de calidad de la concentración de Zn en el suelo establecido por la norma internacional CEGQ, implementando un sistema piloto de electrorremediación eficiente en la disminución de la concentración de Zn en el suelo, como también brindar una solución que pueda ser implementada para actividades potencialmente contaminantes como una tecnología alternativa, sostenible, con bajo costo y alta efectividad dentro de las alternativas de remediación.

La implementación del sistema piloto de electrorremediación es importante puesto que favorece en la reducción de concentración de metales en el suelo, de manera que, se podrá evaluar la concentración de Zn en el suelo antes y después del tratamiento, lo cual nos permite establecer como este parámetro puede ser transformado gracias al proceso de electrorremediación.

El desarrollo del sistema de electrorremediación se ejecutará con los requerimientos para los que fue diseñado y permitirá el cumplimiento de los estándares de calidad de la concentración de Zn en el suelo establecido por la normativa Canadiense (CEGQ). El presente prototipo cumple con lo establecido en la legislación peruana, para ello se tuvo en cuenta el siguiente marco normativo:

- “Ley general del Ambiente” (Ley N° 28611), publicada el 15 de Octubre del 2005.
- “Ley que regula los pasivos ambientales en minería” (Ley N° 28271), publicada el 2 de Julio del 2004.
- “Reglamento de los pasivos ambientales en la actividad minera” (D.S. N° 059 - 2005 - EM), publicada el 8 de Diciembre del 2005.
- “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo” (D.S. N° 011-2017-MINAM), publicada el 02 de Diciembre del 2017.
- “Criterios para la gestión de sitios contaminados” (D.S. N° 012-2017- MINAM), publicada el 02 de Diciembre del 2017.
- “Guía para el muestreo de suelos” (R.M. N° 085 – 2014 – MINAM), publicada el 31 de Marzo del 2014.
- “Guía para la elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a Salud y el ambiente” (R.M. N° 034-2015-MINAM), publicada el 24 de Febrero del 2015.

1.3. Delimitación del proyecto

El estudio experimental ha sido desarrollado en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS). Se diseñó e implementó un sistema de electroremediación para eliminar o reducir la concentración de Zn en el suelo, de una muestra obtenida en un trabajo de campo y realizado en una zona afectada por las actividades de la ex-Mina informal Santa Rosa de Cata.

1.3.1. Temporal

La aplicación y seguimiento de la evaluación, se realizó en el mes de Febrero, entre el 20 de Febrero hasta el 28 de Febrero, en horario diurno y nocturno que es comprendido desde las 9:00 horas hasta las 20:00 horas.

1.3.2. Espacial

El estudio y toma de muestras ha sido realizado en la zona más representativa y afectada por la actividad minera (depósitos de relave minero) localizada cerca del centro poblado de Santa Rosa de Cata, del distrito de San Pedro de Coayllo, perteneciente a la provincia de Cañete, departamento de Lima, Perú. La zona afectada por la actividad minera informal se encuentra a una altitud de 964 m.s.n.m y limita con el río Omas.

La recolección de la toma de muestra ha sido desarrollada en una zona representativa el cual tiene un Área de Potencial de Interés (API) menor a 0,1

ha. de la ex-Mina informal Santa Rosa de Cata, como se muestra delimitado con un polígono de coloración rojo (ver figuras 1 y 2).



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Google Earth, 2018



Figura 2. Delimitación de la zona en estudio

Fuente: Google Earth, 2018

Por otro lado, la realización del presente estudio experimental se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur la cual

se ubica en (Av. Central y Av. Bolívar) Av. Central - sector 03 – Grupo 1A 03, Villa el Salvador.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo reducir la concentración del suelo contaminado con Zn, de la ex-Mina Santa Rosa de Cata de Cañete mediante la aplicación de la electrorremediación para el cumplimiento del valor establecido por la normativa Canadiense?

1.4.2. Problemas específicos

¿Cómo influye el tiempo de humectación utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn de la ex-Mina Santa Rosa de Cata de Cañete?

¿Cómo influye la distancia entre electrodos utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn de la ex-Mina Santa Rosa de Cata de Cañete?

¿Cómo influye el tipo de electrolito utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn de la ex-Mina Santa Rosa de Cata de Cañete?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Reducir la concentración del suelo contaminado con Zn de la ex-Mina Santa Rosa de Cata de Cañete mediante la aplicación de la electroremediación que permita el cumplimiento de la normativa Canadiense.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del tiempo de humectación utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn.
- Determinar la influencia de la distancia entre electrodos utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn.
- Determinar la influencia del tipo de electrolito utilizado en la reducción de la concentración del suelo contaminado con Zn.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Podría decirse que los progresos que se han desarrollado con respecto a los suelos contaminados en el área de la electroremediación, se han convertido en el producto individual de especialistas, quienes durante los últimos años han profundizado alrededor de suelos contaminados con metales.

Para el presente estudio se consideró como base del temario las siguientes investigaciones que describen el planteamiento y ejecución de mecanismos que han sido dispuestos e implementados a los requerimientos del trabajo y según la motivación de los expertos.

2.1.1. Antecedentes internacionales

En primera instancia, como antecedente internacional, es relevante mencionar el trabajo (*Evaluación de la electrorremediación de Andisoles contaminados, mediante el análisis de las soluciones de lavado*) de Rodríguez y Vásquez (2003), cuyo objetivo fue:

“Analizar la composición de las soluciones de lavado obtenidas de una cámara de electrodos de una celda electrocinética a escala de laboratorio, para estudiar el movimiento de iones de nitrato y Pb como contaminantes del suelo de la región (Andisol).” (p. 75).

Estos autores encontraron que “para las condiciones experimentales empleadas, los iones se removieron fácilmente del suelo mientras que para el Pb fue parcialmente retenido” (Rodríguez y Vásquez, 2003, p. 75).

En segunda instancia se resalta el estudio realizado por De la Rosa, Teutli y Ramírez (2007) (*Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación de campo*), su propósito principal consistió en implementar un análisis técnico alrededor de la electrorremediación como mecanismo alternativo para restaurar los terrenos que han sido contaminados con materiales orgánicos e inorgánicos (p. 129). Para ello, los autores presentaron “los fundamentos técnicos, los mecanismos para la remoción del contaminante, los factores que influyen en el proceso, las variantes electrocinéticas para mejorar el rendimiento de la técnica y sobre su aplicación en la campo” (De la Rosa et. al., 2007, p. 129).

Por otro lado, se encuentra la investigación *Simulación matemática del proceso de electroremediación de suelos contaminados con Pb y Cd del distrito minero de Zimapán* realizada por García, Vargas y Reyes (2009), quienes tuvieron como objetivo desarrollar un modelo matemático partiendo de los resultados obtenidos de la “electroremediación en una celda cilíndrica de un suelo contaminado por residuos mineros” (p. 1). Para desarrollar el modelo los autores utilizaron un software comercial mediante el cual pudieron “calcular las velocidades de flujo y el balance de masas dentro de la celda” (García et al., 2009, p. 1).

Asimismo, García, Vargas y Reyes (2011) llevaron a cabo profundizaciones “potenciostáticos en una celda de electroremediación de carácter experimental” (p. 24) cuyos resultados fueron registrados en la publicación (*Electroremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolito*). En este estudio los autores utilizaron agua desionizada, ácido acético y acetato de amonio como humectante de suelo o electrolito, y plantearon tres tipos de experimentos que variaron en la cantidad de electrolitos empleados para humectar el suelo (acetato de amonio y agua), a su vez aplicaron un potencial constante de 20 V durante 24h a un suelo real tipo arenoso contaminado por la oxidación de residuos mineros (García et al., 2011). Al finalizar el estudio se evidenció la recuperación del suelo y la disminución de la concentración de Pb y Cd en todos los experimentos; además, se encontraron mejores resultados en la remoción de Pb que del Cd, dado que en los resultados se halló una menor cantidad de este al potencial aplicado.

En la investigación (*Evaluación de la técnica de electroremediación de suelos contaminados con metales*) realizada por Granda (2011) en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador), se tuvo como finalidad examinar el método de electroremediación con énfasis en terrenos contaminados con metales (Pb, As y Zn) a partir del diseño de una celda de electroremediación. En este trabajo Granada (2011) seleccionó las muestras que tenían mayor concentración de Pb, As y Zn, y para su análisis utilizó diferentes variables experimentales como tiempo de tratamiento, distancia entre electrodos y tipo de electrolito.

En este mismo contexto también se halló la investigación (*Diseño a escala laboratorio y piloto de un sistema de remediación electrocinética de suelos contaminados con metales pesados*) realizada por Aragón, De la Torre y Guevara (2014), con la finalidad de desarrollar un sistema de remediación electrocinética, el cual fue diseñado a escala de laboratorio como alternativa de depuración para suelos afectados por las actividades mineras.

Contrario a la investigación de este trabajo, los autores evaluaron los metales y su movilización (Cu, Cr, Pb y Zn). Con el fin de lograr esto, aplicaron un campo eléctrico (con una potencia de 10 V), el cual fue aplicado en varios materiales, en concreto, tres. Además, se encargaron de ejecutar ensayos, en el que modificaron las celdas (algunas con y otras sin pozo) y la aplicación del factor humectante, es decir, los elementos de sulfato de sodio, ferroso y ácido acético. Esto se logró con los grafitos que se introdujeron en los pozos (Aragón et al., 2014, p. 1).

En suma, los autores obtuvieron mejores resultados en los ensayos del arreglo de la celda de electrorremediación con pozos para las cuatro especies estudiadas (Cu, Cr, Pb y Zn) dado que se registró una disminución en la concentración de estos elementos en el suelo, al permitir alcanzar lo dispuesto para este en la normatividad vigente (Aragón et al., 2014).

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la revisión bibliográfica de los estudios realizados a nivel nacional se halló que son pocas las investigaciones que se relacionan con el desarrollo de sistemas de electrorremediación para disminuir la concentración de metales en el suelo.

En este contexto, cabe resaltar la investigación de Yauri (2014) titulada *Estudio de las técnicas electroquímicas para la remediación de suelos* en la Universidad Nacional de Ingeniería (Perú), donde se describió el método de electrorremediación como una técnica avanzada para descontaminar los suelos utilizando “una muestra real contaminada, proveniente del centro metalúrgico la Oroya, para la remoción del Plomo (Pb)” (Yauri, 2014, p. 1).

En el trabajo de investigación se empleó el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y, asimismo, se hizo uso del nitrato de potasio (KNO₃) como electrolitos; además, se suministró 10 V alrededor de media hora (Yauri, 2014, p. 1). El autor determinó la concentración del metal (Pb) en dos momentos: antes y después de emplear la técnica de remoción. Finalmente, con el uso de Voltametría de

Redisolución se obtuvo la remoción de un porcentaje significativo 47.90 % de Pb para la muestra estudiada (Yauri, 2014).

De igual forma, el Ministerio del Ambiente (2017) publicó el D.S. N° 012-2017-MINAM:

Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados: El cual tiene por objeto establecer los criterios para la gestión de sitios contaminados generados por actividades antrópicas, los cuales comprenden aspectos de evaluación y remediación, a ser regulados por las autoridades sectoriales competentes, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente. (Art. 1)

De igual forma, en el marco del cumplimiento de la normatividad nacional vigente para suelo, el MINAM (2017) publicó el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo, mediante los cuales se busca incrementar los rangos de protección en cuestiones de salud, sobre todo, en individuos y la calidad en temas ambientales. Los ECA se constituyen en la base que orienta el diseño y aplicación de los programas y proyectos de prevención, y control de la contaminación del suelo (MINAM, 2017).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Electrorremediación

La electrorremediación es una tecnología para restaurar suelos contaminados que se basa en la generación de un campo eléctrico a partir de imponer corriente directa (De la Rosa et al., 2007). Cabe aclarar que para la implementación de diferencial potencial o una corriente directa, es necesario el uso de electrodos (ánodo y cátodo). Estos son dispuestos en pozos que se construyen a partir de la excavación en el suelo. En condiciones normales, estos se humectan junto a un electrolito en pro de ayudar a mantener un equilibrio en las condiciones de conducción que se presentan en el campo eléctrico. Es importante destacar que la acción en relación con el electrolito facilita el transporte del contaminante hacia los lugares que fueron excavados (pozos) y allí serán extraídos.

Si se compara esta técnica con el arrastre de fluidos, la extracción facilita una migración conducida y guiada, lo cual previene que se disperse el contaminante en otras zonas que no pertenecen a las áreas de tratamiento (De La Rosa et al., 2007, p. 131)

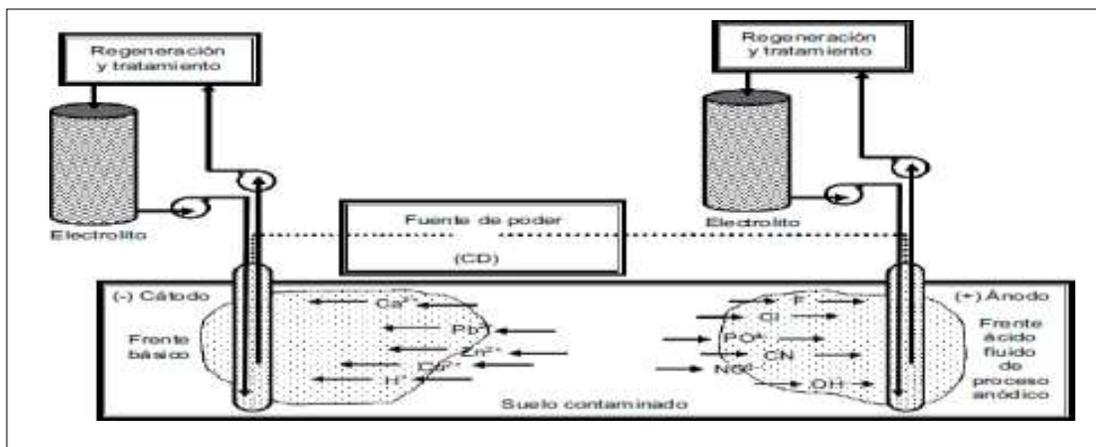


Figura 3. Esquema básico del proceso de electrorremediación
Fuente: (De la Rosa et al., 2007)

En este sentido, el sentido y enfoque de la electroremediación se fundamenta en uso de una corriente que es directa y, asimismo, de una reducida intensidad; situación que se presenta por medio del terreno contaminado y a partir del empleo de electrodos, los cuales se dividen en polos anódicos y catódicos” (Volke, Velasco y De la Rosa, 2005, p. 85). En la Figura 4 se exhibe el esquema de la migración de los elementos que se encargan de la electroremediación.

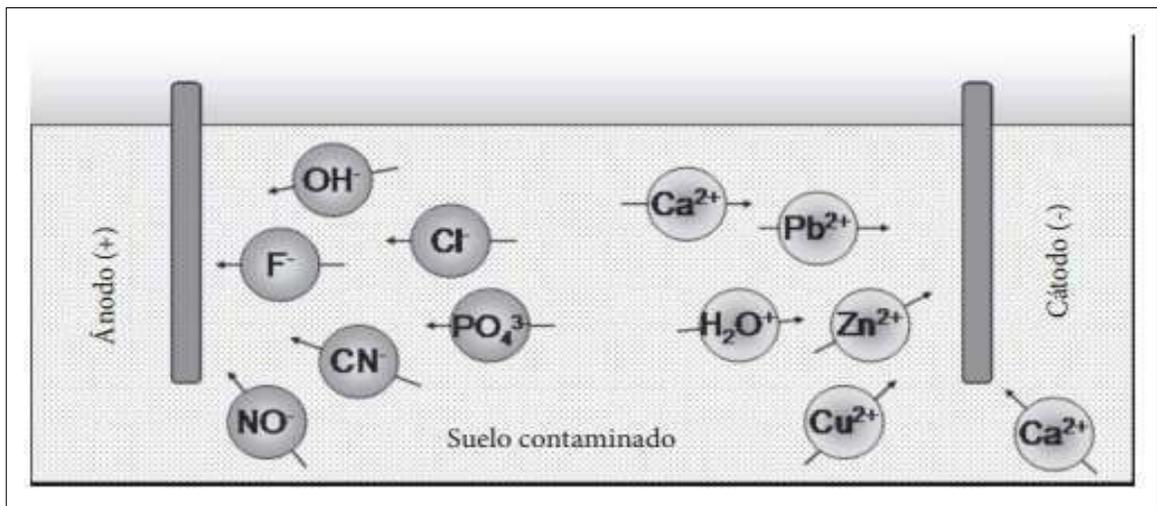


Figura 4. Migración de iones en la electroremediación de terrenos contaminados

Fuente: (Volke et al., 2005)

2.2.2. Fundamentos del proceso electrocinético

López (2013) nos menciona que durante la actividad electrocinética, la energía eléctrica, la cual es transmitida al sistema, se transforma en energía química. Este proceso facilita que se desarrollen varias reacciones dispuestas a la intensidad de corriente; lo cual permite la puesta en marcha del proceso.

La formación de un frente básico es causada por la reducción del agua (López, 2013). Las reacciones producidas durante la electrolisis del agua se señalan en la sección 1.1. Además, el autor López (2013) señala que “la liberación de los metales pesados que son transportados para el proceso son producidos por el frente ácido” (p. 25).

Po otro lado, López (2013) en la sección 1.2 indica que en la superficie catódica, se produce la reducción del agua; esto es debido al flujo electroosmótico que genera un frente básico, el cual apoya el traslado de los iones de hidroxilo hasta el ánodo. La ventaja de la fijación de metales mediante por precipitación o intercambio iónico se da gracias al frente básico.



En la figura 5 se exhibe el proceso de electrolisis en remediación electrocinética de suelos.

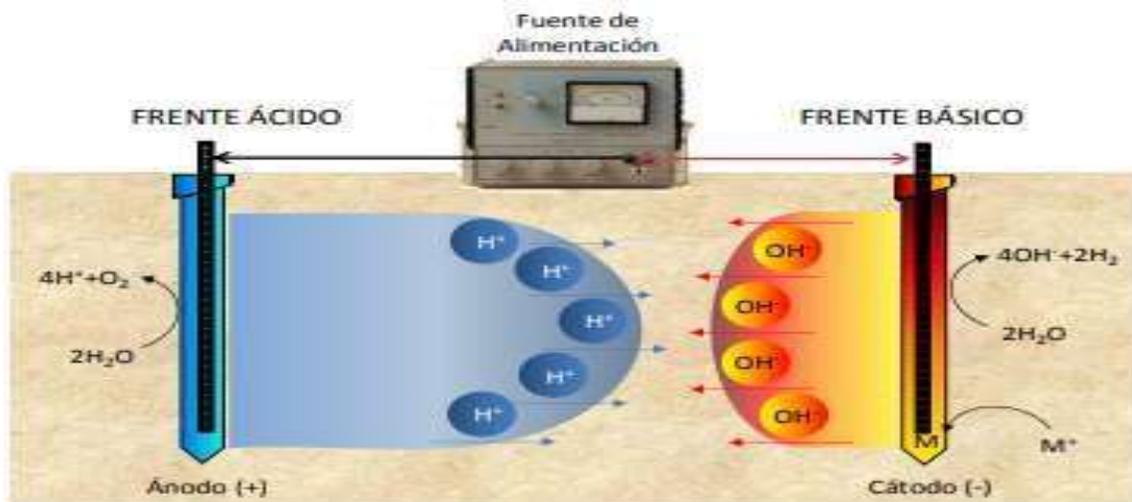


Figura 5. Movilización de los frentes ácido y básico en el desarrollo de la electroremediación

Fuente: (López, 2013).

2.2.3. Mecanismos de remoción

Según De la Rosa et al. (2007) señalan que “los principales mecanismos por los cuales el campo eléctrico conduce los contaminantes hacia los electrodos son: electromigración, electroósmosis y electroforesis” (p. 131). Los cuales se detallan a continuación:

A. Electromigración

Es un proceso que se basa en el traslado de partículas (coloides y iones en solución hasta el electrodo que tiene una carga contraria mediante el campo eléctrico, el cual se produce gracias a la corriente sobre el material (De la Rosa et al., 2007).

López (2013) indica que la carga del ion, temperatura y el gradiente eléctrico aplicado va a determinar la rapidez de electromigración de un ión dentro del campo eléctrico.

B. Electroósmosis

Bayardo (2006), señala que “la electroósmosis se genera a partir de la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico que provoca el movimiento del fluido” (p. 6).

C. Electroforesis:

Este proceso consiste en la movilización de partículas, las cuales están cargadas de elementos (coloides, arcilla, bacterias); esto sucede por la implementación de una corriente de baja intensidad o que tiene una reducida influencia de un gradiente eléctrico (Bayardo, 2006, p. 5).

Por otro lado, “el sentido del movimiento dependerá de la carga superficial de estas especies y obviamente se movilizarán hacia el electrodo de carga opuesta” (López, 2013, p. 24).

En la figura 6 se dejan entrever los hechos de transporte que se presentan por electroforesis, electroósmosis y electromigración.

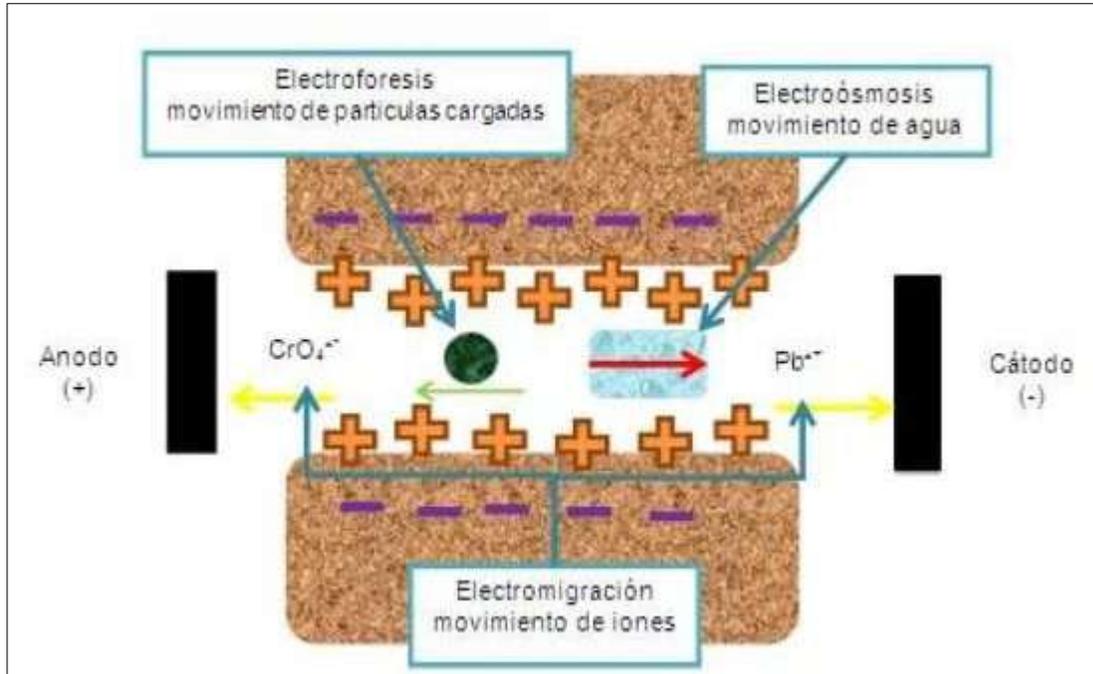


Figura 6. Tipos de transporte durante la electroremediación.

Fuente: (Mattson y Lindgren (2005), citado por Aragón et al. (2014))

2.2.4. Factores que influyen en la electroremediación.

De La Rosa et al. (2007) aseguran la existencia de distintos factores fisicoquímicos, los cuales impactan en la movilización “de los contaminantes y así la efectiva remediación del suelo contaminado” (p. 132); estos factores se expresan de la siguiente manera:

A. pH

Según Instituto Nacional de Ecología Aplicada y Cambio Climático (INECC) el pH afecta la solubilidad y disponibilidad de macro y micro-nutrientes, la movilidad de metales y la reactividad de minerales. Generalmente, los metales son móviles a pH bajo, en forma de especies iónicas libres o como

órgano-metales solubles; al pH alcalino forman carbonatos o fosfatos minerales insolubles (INECC, s.f., párr. 9).

B. Contenido de agua

Para el proceso de electrorremediación es importante la magnitud de saturación del suelo. El contenido de agua esencial para que se lleve a cabo el movimiento del electrolito por electroósmosis. (De la Rosa et al., 2007, p. 133).

La intensidad del campo eléctrico y las variaciones de pH aplicado determinan la distribución de la humedad del terreno; el traslado de los electrolitos hasta uno de los electrodos genera una mayor humedad en ese electrodo y una menor de humedad en el contrario (De la Rosa et al., 2007).

C. Conductividad eléctrica

Los autores De La Rosa, Teutli y Ramírez (2007) manifiestan que la conductividad eléctrica es la capacidad que tiene un medio físico para facilitar el movimiento y transcurso de la corriente eléctrica. Asimismo, para cada tipo de terreno existe una cifra de conductividad eléctrica.

Es necesario mencionar que en la electrorremediación, las modificaciones de pH del terreno alteran la conductividad; por esto, se construyen “perfiles de voltaje” (De La Rosa et al., 2007, p. 133).

Este factor está en relación de la esencia del sustrato y principalmente de la modificación de pH como efecto del electrocinético, debido a que se emplean perfiles de voltaje que transforman la conductividad (De la Rosa et al., 2007, p. 133).

D. Potencial zeta

El potencial zeta se comprende como aquella medida que precisa la potencia de un coloide con respecto a la función del contexto y superficie, es decir, el elemento del medio que se suspende (De la Rosa et al., 2007, p. 133).

E. Naturaleza y química del suelo

Los investigadores De la Rosa et al. (2007) mencionan que las propiedades físicas del terreno como: la facultad de adsorción; intercambio iónico y de amortiguamiento del pH, ya sea en terrenos arenosos o arcillosos; son influidos por la electroremediación de suelos contaminados.

F. Naturaleza del contaminante

La efectividad remediación electrocinética es determinado por la especiación de los contaminantes. Los contaminantes se adjuntan con gran viabilidad a los suministros de granulometría fina y en su gran mayoría se presentan adsorbidos a estas, incluso se hallan precipitados o disueltos, igualmente absorbidos en la fracción residual (De la Rosa et al., 2007).

G. Naturaleza y arreglo de los electrodos

Para constituir un buen contacto en los electrodos y descargar los gases generados por la electrolisis del agua, se deben emplear electrodos de material poroso. También, la forma, el tamaño, la separación y arreglo entre electrodos determina la magnitud de remoción de contaminantes en el terreno (De la Rosa et al., 2007).

Los electrodos utilizados en electrorremediación habitualmente se fabrican con varios suministros (platino, grafito o titanio), con el objetivo de que tengan contacto con las partículas y las soluciones electrolíticas. Así pues, la idea es evitar que resulten afectaciones indeseadas (De la Rosa et al., 2007).

Al respecto, Bayardo (2006) determinó algunas observaciones al momento de escoger los electrodos que son utilizados en electrorremediación:

- a) Las propiedades de conducción eléctrica del suministro.
- b) Disponibilidad y precio.
- c) Facilidades de construcción.
- d) Capacidad mecánica.
- e) Resistencia a problemas como la corrosión.

H. Densidad de corriente e intensidad del campo eléctrico:

Alshawabkeh, Yeung y Bricka (1999) señala que tanto la densidad de corriente e intensidad de campo están en relación directa con los atributos del terreno contaminado, es decir, con la conductividad eléctrica, dispersión entre electrodos y duración del proceso. Cuando un terreno posee una conductividad de gran nivel, verbigracia, la corriente y su intensidad se mantienen constantes cuando esta aumenta.

Alshawabkeh et al. (1999) manifiesta que la mayor eficiencia de la intensidad de corriente está en el rango de 0,10 a 0,01 mA/cm² para el desarrollo de la electrorremediación.

I. Solución humectante empleada

La naturaleza química de los contaminantes y sus transformaciones que son causados por la creación de los frentes ácidos y básicos, situados cercanos a los electrodos, son determinantes para el desarrollo de la remediación electrolítica (De la Rosa et al., 2007, p. 134).

El investigador Alshawabkeh et al. (1999) llegaron a la conclusión de que la reducción de contaminantes en el suelo, en algunas veces puede verse afectada por estas transformaciones; por consiguiente, se deben usar soluciones que brinden la solubilización de contaminantes para humectar el sustrato y permita mejorar su movilidad (p. 29).

Alshawabkeh et al. (1999) manifestaron que las soluciones utilizadas como elementos humectantes tienen que caracterizarse por lo siguiente:

- Ser estables desde una perspectiva química.
- Poseer afinidad por los contaminantes del terreno.
- No originar materiales tóxicos en el terreno.
- Ser selectivos.
- No tener una inclinación por los elementos de sustrato.

2.2.5. Suelo.

El suelo se concibe como la capa que tiene la superficialidad más alta en la corteza terrestre. Además, es uno de los recursos primordiales del ser humano, puesto que en él está dispuesta toda la vida. Desde una perspectiva científica, un terreno es un objeto de origen natural y tridimensional, el cual está constituido por una modificación física y química de una roca (materia original) desde tiempos inimaginables. Este se presenta bajo ciertas circunstancias climáticas y topográficas y, sin duda, depende de la realidad de todos los organismos que lo habitan (Ortiz, 2015, p. 51).

2.2.6. Importancia del suelo

Según el autor Ortiz (2015), la importancia de este material se debe a que es un componente de origen natural que constituye el enlace entre las esferas del planeta (atmósfera, litósfera, biósfera e hidrósfera), con las cuales tiene un vínculo de intercambio entre materia y, por supuesto, energía.

Sin duda, esto lo instituye en un elemento clave en los ciclos biogeoquímicos que son superficiales. Además, le permite obtener funciones especiales en distintos contextos, ya sea aspectos medioambientales, económicos, socioculturales y ecológicos. (p. 51).

2.2.7. Contaminación del suelo con metales pesados

Se define a la contaminación del suelo con metales pesados, a las concentraciones que superan a las normales, es decir, generan una degradación química, provocando de esta manera la pérdida de la calidad el suelo. Asimismo, genera consecuencias negativas en la reproducción y crecimiento de los organismos.

2.2.8. Fuentes antropogénicas de contaminación

Muchas de las actividades humanas que generan un impacto en el ambiente, particularmente en la biosfera, provocan que se acumulen metales en el suelo. También, originario de los procesos geológicos en forma natural (Cruz, 2007, p. 52-53).

En la Tabla 1 se describen y clasifican las actividades que afectan al suelo.

Tabla 1. Actividades generadoras de Contaminación en Suelos

CATEGORIA	ACTIVIDADES RELACIONADAS
Industria	Peculiaridades accidentales, vertidos, fugas, almacenamiento y disposición de residuos.
Minerías	Almacenamiento y disposición de escombreras, drenajes ácidos y el empleo de reactivos químicos.
Residuos	Generación de cenizas de acciones de incineración.
Transporte	Generación de gases, desperdicios de aceites y gasolinas, abrasión de gomas de neumáticos.
Otras	Materiales de construcción (hormigón, pinturas, fertilizantes y pesticidas), sistema de tratamientos de aguas.

Fuente: (Cruz, 2007, p. 52-53)

2.2.9. Poder depurador de los suelos

Galán y Romero (2008) mencionan que entre las funciones de las capacidades de depuración del suelo se encuentran: descomponer, filtrar, neutralizar y aglomerar contaminantes en sus formas menos tóxicas para los seres vivos. También, existen parámetros así como la existencia de carbonatos e hidróxidos, la capacidad de materia orgánica, la proporción y especie de minerales de arcilla, la facultad de cambio iónico, el pH, el nivel de óxido reducción, la permeabilidad, la textura, y la actividad microbiana que determinan el poder depurador del suelo (p. 49).

2.2.10. Formas de presentación de los contaminantes en el suelo y su disponibilidad relativa

Según los autores Rulken, Grotenhuis y Tichy (1995) indican que el contacto entre los contaminantes y el suelo se dan de seis formas. Así como, películas líquidas, partículas contaminantes, adsorbidos, absorbidos, fases sólidas y fase líquida intersticial en los poros (p. 166). Al respecto, en la figura 7, se expone la forma de presentación de contaminantes en el suelo:



Figura 7. Estado físico de los contaminantes en terrenos y sedimentos

Fuente: (Rulkens et al., 1995, p. 166)

2.2.11. Parámetros que influyen en la movilidad de los contaminantes en el suelo

Galán y Romero (2008) afirman: “La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc.”(p. 51).

Por otro lado, los autores señalan que en su gran mayoría los metales pesados se encuentran aglomerados en los primeros centímetros del suelo, puesto que, su movilidad es baja. Por esta razón, los metales son lixiviados en pequeñas cantidades hasta horizontes inferiores del suelo (Galán y Romero, 2008, p. 51).

2.2.12. Metales pesados

Los autores García y Dorronsoro (2005) mencionan que “se considera metal pesado, aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos)” .En la Tabla 2 se muestran los metales tóxicos de interés.

Tabla 2. Metales Tóxicos de Interés

Muy tóxicos y fácilmente disponibles	Contaminantes prioritarios según EPA	Metales y no metales que aparecen en concentración superior a la normal por causas antrópicas
As Pd Zn Tl Co As Sn Pb Bi Cd Se Te Ni Pt Cu Hg Sb	Sb Pb Cr Hg As Hg Cu Tl Be Ni Zn Cd Se	Ag Pb As Sb Cu Sn Hg Zn Ni

Fuente: (Seoáñez, 1999)

2.2.13. Zinc (Zn)

El zinc se presenta de manera natural en la naturaleza (aire, agua y suelo), pero las concentraciones se incrementan por motivos que no son de tipo natural; esto

ocurre por la incorporación de zinc mediante prácticas industriales como es el caso de la minería (Granda, 2011). El autor Granda (2011) señaló que este material en el terreno varía constantemente y, asimismo, la distribución obedece a la naturaleza del material constituyente (roca madre). Igualmente, depende de las características del suelo (capacidad, textura, contenido) (p. 33).

Asimismo, (Granda, 2011) manifiesta que la excesiva concentración de zinc en el suelo se debe a la adquisición por parte de la vegetación presente, por tanto, se manifiestan efectos negativos en humanos, cultivo y ganado. Además, este metal en cercanía con Ni y Cr, el Zn es fitotóxico, por esta razón, las consecuencias en la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivo está condicionada al zinc (p. 33)

2.2. Marco conceptual

Como parte del marco conceptual a continuación, se presenta un glosario de términos que se emplearan en el presente trabajo:

Anión: es de tipo iónica negativa, la cual se moviliza hacia el cátodo por causa de un campo eléctrico (Martínez y Hernández, 2004)

Ánodo: es un electrodo en el que se movilizan los aniones y allí surge el proceso de oxidación (Martínez y Hernández, 2004).

Agente oxidante: es una partícula que incentiva la oxidación de otra especie en una reacción redox. Cabe aclarar que el agente oxidante suma electrones y disminuye (Martínez y Hernández, 2004).

Agente reductor: es un elemento que reduce otra especie en una reacción redox; en este sentido, el material no gana, pero sí pierde electrones, en otros términos, se oxida (Martínez y Hernández, 2004).

Catión: es un tipo de iónica positiva que se traslada hacia el cátodo por causa del campo eléctrico (Martínez y Hernández, 2004).

Cátodo: es un electrodo en el que migran todos los cationes; allí se presenta la reducción (Martínez y Hernández, 2004).

Celda Electroquímica: es un mecanismo en el que se posiciona una reacción química de oxidación o de reducción. En principio, la celda se concibe como dos conductores que se conocen como electrodos, los cuales están en una relación directa con una solución pertinente de un electrolito. Cabe aclarar que cuando estos se conectan mediante un circuito eléctrico de tipo externo, fluye la corriente eléctrica; cifra que es proporcional a la variación potencial que existe entre estos (Martínez y Hernández, 2004).

Corriente eléctrica: se constituye como un flujo de cargas que son resultado del movimiento de cargas eléctricas, en parte, gracias a una diferencia de potencial (Martínez y Hernández, 2004)

Conductor eléctrico: es un objeto que, debido a su composición, facilita que los electrones se movilizan de modo fácil por medio de él. Un caso ilustrativo son los metales (Martínez y Hernández, 2004).

Conductividad eléctrica: es la capacidad de un material al momento de dirigir la corriente eléctrica. Es fundamental mencionar que este se diferencia de la conductividad térmica, aunque, usualmente, se generan al mismo tiempo (Martínez y Hernández, 2004).

Electrodo: es una partícula conductora de electricidad que se encarga de cerrar un circuito; en sus polos se instaura una distinción de potencia. Desde la perspectiva

electroquímica, este es un objeto conductor de electricidad que ayuda a mantener una relación eléctrica entre un circuito externo, el cual se vincula a otros electrodos y una solución electrolítica (Martínez y Hernández, 2004).

Electrólisis: es una desintegración de una sustancia en una celda electroquímica; el cual se origina por una corriente eléctrica (directa o alterna) de un nivel bajo de frecuencia (1000 Hz) (Martínez y Hernández, 2004).

Ión: es un átomo o molécula que está cargada. Este también se conoce como catión cuando esta es positiva y, si es el caso contrario, anión (Martínez y Hernández, 2004).

Migración: es la movilización de masa que ocurre por los movimientos de iones a través de un campo eléctrico. Cabe aclarar que los iones solvatados se mueven en distintas velocidades, según su capacidad y dimensión (Martínez y Hernández, 2004).

Oxidación: refiere a reacciones químicas en donde un compuesto traspasa electrones a uno más electronegativo. En términos más generales, sucede cuando hay una pérdida de electrones (Martínez y Hernández, 2004).

Contaminante: alude a un elemento químico que se vincula con ejercicios antrópicos, los cuales son susceptibles de producir consecuencias negativas para la humanidad y la naturaleza (D.S. N°012-2017-MINAM, 2017).

Suelo: es un suministro que no está consolidado y está constituido por elementos inorgánicos, orgánicos, agua, aire y seres vivos. Este abarca la capa superior hasta las más profundas en la superficie del planeta (D.S. N°012-2017- MINAM, 2017).

Sitio contaminado: zona en donde el suelo adquiere contaminantes que son herencia de ejercicios antrópicos; es cuando el terreno mantiene concentraciones que reflejan peligros para los individuos y la naturaleza. Esta escala se mide por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, los parámetros internacionales que fueron concebidos por el MINAM (D.S. N°012-2017-MINAM, 2017).

Remediación: alude a la acción de eliminar o reducir los riesgos que afectan al planeta a condiciones aceptables y moderadas. Igualmente, hace alusión a las acciones en pro de restaurar las condiciones del suelo antes de que hubiese ocurrido el impacto negativo (D.S. N°012- 2017-MINAM, 2017).

Plan dirigido a la remediación: es una herramienta de gestión ambiental que posee el fin de la remediación de zonas que tienen esta problemática (D.S. N°012-2017-MINAM, 2017).

Suelo contaminado: Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana. (R.M. N° 085-2014-MINAM, 2014)

Estándares de calidad ambiental (ECA): es la escala que instauro el rango de concentración de los elementos dispuestos en el aire, suelo y agua que no reflejan peligros para la salud ni la naturaleza. De acuerdo con las normas, el grado debe ser expresado en máximos, mínimos o rangos (R.M. N° 085-2014-MINAM, 2014).

Área de potencial interés: alude a las zonas identificadas durante la Fase de Identificación, en las que se presentan señales de contaminación del terreno; en el que se desarrollarán los trabajos de muestreo (D.S. N°012-2017- MINAM, 2017).

Muestreo dirigido: es el ejercicio mediante el cual se capturan muestras representativas alrededor de aspectos concretos y determinados. Además, se debe conocer la información previa de la zona, el material derramado y, asimismo, el área afectado (R.M. N° 085-2014-MINAM, 2014).

Muestra simple: este término alude a aquellas muestras que son colectadas en un tiempo y en una zona específica. Es importante aclarar que refleja las circunstancias específicas de una muestra de la población durante el momento que sucedió el colectado. Cabe aclarar que estas se adaptarán para elementos orgánicos volátiles (cov's), Hidrocarburos y Benceno, Tolueno, Etilbenceno, xilenos (BTEX) (R.M. N° 085- 2014-MINAM, 2014).

Muestra compuesta: alude al grupo de muestras simples (sub muestras), las cuales son combinadas y dirigidas al laboratorio en pro del respectivo análisis. Así pues, el resultado es un valor analítico medio de la propiedad o compuesto que es examinado. La cantidad de sub muestras depende de la variación del compuesto o propiedad que debe ser analizada en la zona seleccionada. Además, permite demostrar un muestreo mayor sin que se aumente la cantidad de muestras a examinar (R.M. N° 085-2014-MINAM, 2014).

Coordenadas Cartográficas UTM: es un Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator, el cual es cilíndrico transverso y secante (Resolución Jefatural N° 112-2006- IGN/OAJ/DGC/J, 2006).

Ministerio del Ambiente (MINAM): El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo rector del Sector Ambiental, que desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la política nacional del ambiente. Asimismo, cumple la función de

promover la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas. (D.S. N° 002-2017-MINAM)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA): El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, órgano público técnico especializado, adscrito al Ministerio del Ambiente, encargado de impulsar y promover el cumplimiento de la normativa ambiental . (OEFA, 2008)

CAPITULO III

DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA

La presente investigación fue desarrollada en el laboratorio de la UNTELS. Se basa en el estudio experimental y tiene un enfoque cuantitativo. La recolección de los datos se desarrolló con el plan de muestreo de suelos detallados en el Anexo 10, el cual se llevó en un trabajo de campo llamado “Identificación del sitio contaminado”. Como técnica de análisis que se utilizó fue el programa Excel para comparar los datos de concentración de Zn en el suelo, antes y después del tratamiento, esto se detalla en el Anexo 3. En resumen, el proyecto se divide en seis etapas que a continuación se precisan:

- **Etapas I:** durante la primera etapa se realizó una visita técnica de campo, búsqueda y análisis información relevante para el proyecto, formulación de

objetivos. Así mismo, se realizaron las coordinaciones previas con el laboratorio de análisis y laboratorio de la UNTELS.

- **Etapa II:** en la segunda etapa se realizó la toma de muestras de la zona afectada por la minería informal en un trabajo de campo realizado el 09 de febrero del 2018. La toma de muestras se efectuó en un Área de Potencial de Interés (API) menor a 0.1 ha., por tanto, se realizó la toma de cuatro sub muestras según lo establecido en la guía para muestreo de suelos aprobado por R.M N° 085-2014-MINAM. Luego de obtener una muestra homogenizada (muestra representativa), estas se llevaron al laboratorio acreditado (Analytical laboratory E.I.R.L) el 15 de febrero del 2018 para su análisis y determinación de la concentración de metales y conocer las propiedades físicas del suelo.

- **Etapa III:** en la tercera etapa se diseñó el sistema de tratamiento experimental, al tener en cuenta que el objetivo principal es reducir la concentración de Zn del suelo causada por las actividades de la minería informal de la ex-Mina Santa Rosa de Cata.

- **Etapa IV:** en la cuarta etapa se habilitó el espacio disponible en el laboratorio de la UNTELS para implementar el sistema de tratamiento, se adquirieron materiales y equipos para el sistema de tratamiento. Posteriormente, se realizó la construcción e implementación del sistema de tratamiento.

- **Etapa V:** en la quinta etapa se realizó la operación y puesta en marcha del sistema de tratamiento. El laboratorio ALAB (Analytical laboratory E.I.R.L) realizó la recepción y análisis de las muestras en estudio, antes y después del tratamiento, asimismo, brindo los materiales, equipos e indumentaria necesarios

para el traslado y recepción de las muestras. Se hizo el análisis de metales mediante el método de corrida ICP y de las propiedades físicas de suelo de los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, textura del suelo, densidad aparente y pH.

- **Etapa VI:** en la sexta etapa se interpretaron los resultados de los análisis, se realizó la evaluación de la reducción de la concentración de Zn en el suelo contaminado y se verificaron los parámetros de calidad para suelo de la normativa canadiense.

3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

3.2.1. Ubicación:

La investigación ha sido desarrollada en el laboratorio de la UNTELS, ubicado en las avenidas Central y Bolívar, en el distrito de Villa el Salvador, de la provincia y departamento de Lima. Debido a que el diseño e implementación del sistema de tratamiento requiere un espacio disponible para su ejecución, se realizaron las coordinaciones previas para su desarrollo y puesta en marcha.



Figura 8. Laboratorio de la UNTELS

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, las muestras contaminadas fueron analizadas, antes y después de su tratamiento, en un laboratorio acreditado ALAB, situado en la Av. Prolongación Zarumilla, MZ. D2, Lt 03. Prolongación Daniel Alcides Carrión, Bellavista, Callao.

3.2.2. Materiales y equipos

3.2.2.1. Materiales

- Recipiente elaborado a base de vidrio (30x12x8 cm).
- 12 electrodos planos de grafito (125x25x5mm).
- 2 conductos eléctricos (rojo y negro).
- 2 recipiente plástico para los electrolitos (500 ml).
- 2 válvulas y 2 cañerías (1/4 “).
- 1 base de madera.
- Cintas de medición de pH-Fix 0-14 Macherey-Nagel bandas multicolores.
- 1 *cooler*.
- Bolsas de polietileno densas y transparentes.
- Etiquetas.
- Plumón indeleble.
- Cadena de custodia.
- Guantes de látex.

3.2.2.2. Equipos

- 1 fuente de alimentación simétrica DC (0 - 32 V) y (0 - 5A).

- 1 Sistema de Posición Global (GPS).
- 1 Cronómetro

3.2.2.3. Reactivos e insumos químicos

- Agua destilada
- Ácido acético (CH_3COOH) 0.3M.
- Ácido fosfórico (H_3PO_4) al 0.01M.

Los materiales y construcción de la celda de electroremediación se observan el Anexo 7.

3.2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.2.3.1. Descripción del sistema de tratamiento

El diseño experimental para el tratamiento de la muestra de suelo en análisis tomada de la zona afectada por la actividad de la minería informal (relave minero) de la ex-Mina Santa rosa de Cata consta de un sistema de tratamiento basado en el principio de la electrólisis para la remoción del Zn en el suelo. Asimismo, es importante mencionar que el tipo de investigación se centra en la aplicación de la técnica de electroremediación para disminuir la concentración de Zn en el suelo, de la ex-Mina Santa rosa de Cata con medición de la muestra en estudio, antes y después de su tratamiento.

3.2.3.2. Diseño y construcción del sistema de tratamiento

La construcción del sistema, que permite reducir la concentración de Zn del suelo contaminado consta de los siguientes pasos:

- a. En primer lugar, se construyó una base de madera y un recipiente de material de vidrio. Este recipiente cuenta con las siguientes dimensiones: 30 cm de largo, 8 cm de ancho y una altura de 12 cm. La base fue hecha de madera y tiene las siguientes dimensiones: 40 cm de largo, 10 cm de ancho y 20 cm de altura.
- b. En segundo lugar, se ubicaron los electrodos de grafito dentro y en los extremos del recipiente, separados a una distancia de 15 cm. Los electrodos de grafito utilizados son de forma plana y tienen como dimensiones 125 mm de largo, 25 mm de ancho y 5 mm de espesor. Además, se coloca una malla igual al ancho del recipiente para la protección de los electrodos.
- c. Luego, se instaló un equipo que suministrará la energía, el cual cuenta con un rango de voltaje desde 10V hasta 30V. También, se instalaron dos conductores eléctricos que se conectan en los electrodos que están ubicados en los extremos del recipiente.
- d. Finalmente, se instalaron dos envases de plástico de 500 ml de capacidad sobre la base de madera, los cuales almacenan los electrolitos y llevan acoplados dos cañerías y válvulas de 1/4", para controlar el caudal durante el tratamiento.

3.2.3.3. Estudio de la muestra

Las muestras que se usaron para la aplicación de la electroremediación fueron tomadas de la zona afectada por pasivos ambientales (relaves mineros) de la actividad minera informal, de la ex-Mina Santa Rosa de Cata que se encuentra cerca del centro poblado Santa Rosa de Cata, ubicado en el distrito de Coayllo, provincia de Cañete. El desarrollo de la toma de muestras se detalla en el Anexo 10.

Las muestras se tomaron en diversas porciones (muestra bruta), se mezclaron y se dejaron secar al ambiente. Una vez secas, se separaron los elementos gruesos, se redujo el tamaño de los agregados y se tamizaron a través de una malla de 2 mm. Todos los datos obtenidos están referidos a cantidad de muestra seca.

3.2.3.4. Elaboración del electrolito

Para la elaboración del electrolito, se calculó la cantidad del ácido acético (CH_3COOH) 0.3M y de ácido fosfórico (H_3PO_4) al 0.01M que se necesita para el tratamiento (Granda, 2011).

Dentro de una cámara extractora de gases del laboratorio de la UNTELS, se calculó en una pipeta de 10ml, el volumen de ácido requerido; incluso, previamente con el uso de una matraz Erlenmeyer de capacidad de 500ml, se adicionó una cierta cantidad de agua destilada para mitigar la reacción del

ácido concentrado. Finalmente, se enrasó la matraz con agua destilada, para utilizar 500 ml de electrolito para la experimentación (Granda, 2011).

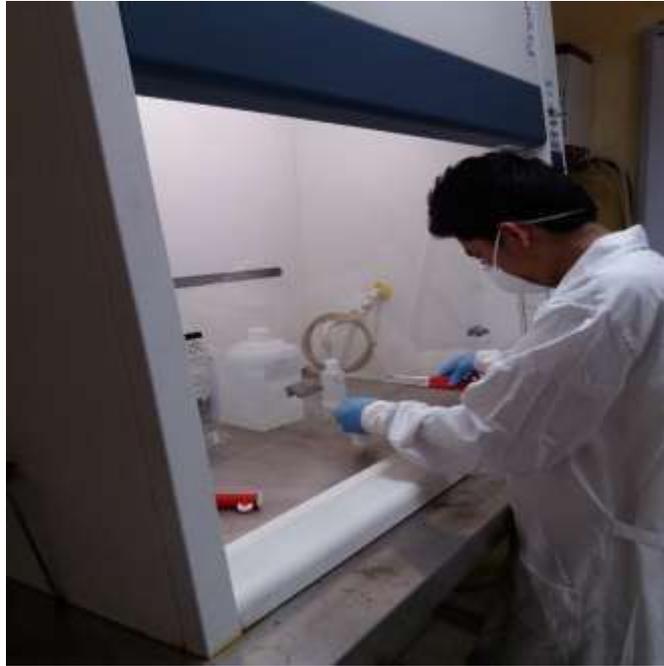


Figura 9. Preparación en cámara extractora de gases.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.5. Medición de pH de la muestra

Para la medición del pH de la muestra en estudio, se realizó el ensayo de pH del suelo antes del tratamiento por parte de ALAB mediante la técnica AS-02 pH: medido en agua. Asimismo, se registró un control del pH utilizando cintas de medición con intervalos de precisión de 1; después, se pesaron 10 gr de muestra y se disolvieron en 100ml de agua destilada y se agitó a intervalos de 10min durante una hora (Granda, 2011). Se dejó reposar y se midió el pH. Los resultados obtenidos se observan en las tablas 10 y 11.

3.2.3.6. Preparación de la muestra con agente humectante.

Para la humectación de la muestra en estudio, se agregó 20ml de electrolito de ácido fosfórico para el tratamiento 1 (T1) y ácido acético para el tratamiento 2 (T2) a un recipiente que contenía 200 gr de la muestra contaminada (Granda, 2011). Por otro lado, se agitó la muestra con una espátula de laboratorio durante 10 min, para finalmente dejarlo secar al ambiente durante 24 h y 12 h para el T1 y T2 respectivamente, previo a su ubicación en la respectiva celda de electrorremediación.

3.2.3.7. Calibración de la fuente de alimentación

La fuente de alimentación utilizada para el sistema de tratamiento fue un equipo de marca Prasek que tiene un rango de voltaje (0-32 V) y de amperaje (0-5A), para asegurar su calibración se midió su precisión y exactitud de voltaje e intensidad de corriente con el uso de un instrumento de medición (amperímetro).

Por otra parte, antes de iniciar el sistema de tratamiento se debió considerar lo siguiente: primero, para el tiempo de humectación del suelo en estudio, se consideró un tiempo de humectación de 24 h y 12 h para el T1 y T2 respectivamente.

Segundo, se depositaron 500 ml de electrolito en cada recipiente de plástico para mantener el volumen del mismo sobre el orificio de la válvula de escape y realizar el lavado de electrodos en intervalos de tiempo.

En el T1 se utilizaron como electrolitos el ácido fosfórico y agua destilada, asimismo, para el T2 se usaron como electrolitos el ácido acético y agua destilada. Luego, se ubicaron los electrodos en el recipiente de vidrio a una distancia de 15 cm para el T1 y T2.

Además, el extremo de la válvula de cada cañería se ubicó en cada electrodo, el cual se encontraba en el recipiente de vidrio. Después, de iniciar cada tratamiento se invirtió la polaridad, es decir, los dos conductores eléctricos (rojo y negro), se conectaron alternadamente en cada electrodo, cada 30 min, durante un tiempo de 2 min, para minimizar los contaminantes en los electrodos.

Finalmente, se encendió la fuente de alimentación con un voltaje de 30V.



Figura 10. Puesta en marcha del sistema de remediación

Fuente: Elaboración propia

3.3. RESULTADOS

Las variables que se utilizaron para el tratamiento en el laboratorio se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones de trabajo para cada tratamiento

Tratamiento	Tiempo de Humectación	Distancia entre electrodos	Tiempo de Tratamiento	Tipo de electrolito
T1	24h	15 cm	24 h	Ác. fosfórico
T2	12h	15 cm	24 h	Ác. acético

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Concentración de Zn en el suelo según el tiempo de humectación

Tabla 4. Condiciones de trabajo para el tiempo de humectación, T1 y T2

Tratamiento	Tiempo de humectación	Punto de muestreo	CEQG (mg/kg)	ECA (mg/kg)
		Zinc (mg/kg)		
T1	24 h	259.2	360	---
T2	12 h	324.6	360	---

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

3.3.2. Concentración de Zn en el suelo según la distancia entre electrodos

Tabla 5. Condiciones de trabajo para la distancia entre electrodos, T1 y T2

Tratamiento	Distancia entre electrodos	Punto de muestreo	CEQG (mg/kg)	ECA (mg/kg)
		Zinc (mg/kg)		
T1	15 cm	259.2	360	---
T2	15 cm	324.6	360	---

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

3.3.3. Concentración de Zn en el suelo según el tipo de electrolito

Tabla 6. Condiciones de trabajo para el tipo de electrolito, T1 y T2

Tratamiento	Tipo de electrolito	Punto de muestreo	CEQG (mg/kg)	ECA (mg/kg)
		Zinc (mg/kg)		
T1	Ác. fosfórico	259.2	360	---
T2	Ác. acético	324.6	360	---

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

3.3.4. Concentración de Zn en el suelo sin tratamiento

Tabla 7. Resultado de análisis de laboratorio antes del tratamiento

	Unidad	Punto de muestreo	CEQG ⁽¹⁾	ECA suelo
		PM-1		
Parámetro				
Zinc	mg/kg	1131	360	...

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

3.3.5. Concentración de Zn en el suelo con tratamiento

Tabla 8. Resultado de análisis de laboratorio para el T1

T1		Unidad	Punto de muestreo	CEQG	ECA Suelo
			M-1		
	Parámetro				
	Zinc	mg/kg	259.2	360	...

Fuente: Elaboración propia, T1: Tratamiento 1

Tabla 9. Resultado de análisis de laboratorio para el T2

T2		Unidad	Punto de muestreo	CEQG	ECA Suelo
			M-2		
	Parámetro				
	Zinc	mg/kg	324.6	360	...

Fuente: Elaboración propia, T2: Tratamiento 2

3.3.6. pH del suelo sin tratamiento

Los resultados obtenidos en el punto de monitoreo PM-1 de pH del suelo contaminado, se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultado de Análisis de Laboratorio Antes del Tratamiento (pH)

		Unidad	Punto de muestreo	CEQG	ECA suelo
	Parámetro		PM-1		
T1	pH	Unidad de pH	4.59	(6-8)	...
T2	pH	Unidad de pH	4.59	(6-8)	...

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

3.3.7. pH del suelo con tratamiento

Los resultados obtenidos en el punto de monitoreo PM-1 de pH del suelo contaminado, se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultado de análisis experimental después del tratamiento (pH)

		Unidad	Punto de muestreo	CEQG	ECA suelo
	Parámetro		PM-1		
T1	pH	Unidad de pH	6	(6-8)	...
T2	pH	Unidad de pH	5.4	(6-8)	...

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

CONCLUSIONES

- En el presente diseño experimental llevado a cabo en el laboratorio de la UNTELS se pudo identificar que para las condiciones de trabajo empleadas en el T1 y T2 con respecto al tiempo de humectación del suelo realizado, se obtuvo mejores resultados empleando un tiempo de humectación de 24h, lo cual permitió obtener un mejor resultado en la reducción de la concentración de Zn en el suelo.
- Se pudo determinar que para las condiciones de trabajo empleadas, de una distancia entre electrodos de 15 cm tanto para el T1 y T2 se obtuvieron exitosos resultados que permitieron reducir la concentración de Zn en el suelo y cumplir el valor establecido por la normativa Canadiense.
- En la investigación se determinó que para el T1 y T2 utilizando como electrolitos ácido fosfórico (0.01 M) y ácido acético (0.3 M) respectivamente, permitieron reducir la concentración de Zn en el suelo. Obteniéndose mejores resultados utilizando ácido fosfórico (0.01 M) y agua destilada como electrolitos.
- Los factores como: el tipo de electrolito, separación entre electrodos y tiempo de humedecimiento del suelo influyen en la experimentación de remoción de Zn en el suelo. Por consiguiente, la mezcla de los factores durante el proceso electro cinético se ven reflejados en los dos tratamientos donde se lograron porcentajes de remoción considerables de 77.083% y 71.3%, para el tratamiento 1 y 2 respectivamente.

- Al realizar la humectación con electrolitos ácidos se mantuvo el pH de las muestras que eran ácidas, lo cual permitió que los resultados dieran efectividad en la técnica logrando mantener los contaminantes en solución lo cual facilita el proceso de electromigración de los metales.
- En la tabla 10 y 11 se muestran los valores de pH registrados en el estudio experimental, antes y después del tratamiento respectivamente, estos evidencian que los suelos tienden a ser ácidos y que no se encuentran dentro del rango propuesto por la Normativa Canadiense (6 – 8) unid. de pH, a excepción del T1. Estos resultados pueden deberse a diversos factores como la precipitación pluvial que origina el lavado del calcio y magnesio del suelo siendo sustituidos por otros metales más ácidos como el aluminio y magnesio, los mismos que influyen en la disminución del pH.
- Los resultados de Zinc en el punto de muestreo PM-1, reportaron concentraciones que sobrepasan el valor guía de Calidad Ambiental (CEQG) de Canadá (360 mg/Kg), esta concentración de Zinc en el suelo se debe principalmente a los grandes depósitos de desechos tóxicos (relaves mineros) originado por la minería informal practicada en el lugar.
- Respecto al Cobre en el punto de muestreo PM-1, el valor hallado excede el estándar recomendado por la norma canadiense (91 mg/Kg). Esta concentración de Cobre en el suelo se debe principalmente a los grandes depósitos de desechos tóxicos (relaves mineros) originado por la minería informal practicada en el sitio. También, puede deberse a que el Cobre se encuentra adsorbido en los óxidos de hierro y manganeso así como también está fijado en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos

del suelo. Además, es importante mencionar que el porcentaje de cobre intercambiable se incrementa generalmente con la disminución del pH.

RECOMENDACIONES

- Las pruebas de recuperación de Zinc que se realizó en el presente estudio corresponden a pruebas iniciales. Los resultados logrados permiten replantear nuevas estrategias para obtener procesos de electrorremediación de metales más eficientes.
- La investigación debe seguir tomando en cuenta otros factores así como: concentración (molaridad) de los electrolitos, modelo de material de electrodo, tiempos de humectación, cambio de voltajes etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aragón, C., De la Torre, E., y Guevara, A. (2014). Diseño a escalas laboratorio y piloto de un sistema de remediación electrocinética de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Politécnica*, 34(1). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304013102_Disenio_a_Escalas_Laboratorio_y_Piloto_de_un_Sistema_de_Remediacion_Electrocinetica_de_Suelos_Contaminados_con_Metales_Pesados
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Perú. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM - Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados. Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-criterios-gestion-sitios-contaminados>
- De la Rosa, D., Teutli, M., y Ramírez, M. (2007). Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 129-138. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>
- García, L., Vargas, M., y Reyes, V. (2009). *Simulación matemática del proceso de electrorremediación de suelos contaminados con Pb y Cd del distrito minero de Zimapán*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/victor_reyes/ForoLaura.pdf

García, L., Vargas, M., y Reyes, V. (2011). Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolitos. *Superficies y Vacíos*, 24(1), 24-29. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v24n1/v24n1a6.pdf>

Granda, J. (2011). *Evaluación de la técnica de electrorremediación de suelos contaminados por metales pesados*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.

Guerrero, M., y Pineda, V. (2016). Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá Bajo (Tausa). Modelo conceptual. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26 (1), 57-74. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1664>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2005). Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente. Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., y Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en el suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1,2), 149-155. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci_arttext

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM - Aprueban guía para el muestreo de suelos y guía para la elaboración de planes descontaminación de suelos. Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-muestreo-suelos-guia-elaboracion-planes-descontaminacion>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Resolución Ministerial N° 034-2015-MINAM - Aprueban la guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a

salud y el ambiente. Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-elaboracion-estudios-evaluacion-riesgos-salud-ambiente>

Rodríguez J., y Vázquez M. (2003). Evaluación de la electroremediación de Andisoles contaminados, mediante el análisis de las soluciones de lavado. *Universitas Scientiarum*, 8(1), 75 - 80. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4848>

Yauri, C. (2014). *Estudio de técnicas electroquímicas para la remediación de suelos*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/ministerio-del-ambiente-publico-decreto-supremo-que-aprueba-los-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-suelo/>

De la Rosa, D., Teutli, M., y Ramírez, M. (2007). Electroremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 131. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>

Volke, T., Velasco, J., y De la Rosa, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=311149>

López, R. (2013). *Remediación electrocinética de suelos de baja permeabilidad contaminados con compuestos orgánicos hidrófobos*. Obtenido de Universidad de Castilla la Mancha:

<https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/3313/TESIS%20L%C3%B3pez-Vizca%C3%ADno%20L%C3%B3pez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bayardo, I. (2006). *Diseño y construcción de un dispositivo para evaluar y caracterizar la electroremediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

De la Rosa, D., Teutli, M., y Ramírez, M. (2007). Electroremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 132. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>

INECC. (s.f.). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap4.html>

De la Rosa, D., Teutli, M., y Ramírez, M. (2007). Electroremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 133. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>

De la Rosa, D., Teutli, M., y Ramírez, M. (2007). Electroremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 134. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>

Alshawabkeh, A., Yeung, A., y Bricka, M. (1999). Aspectos prácticos de la extracción electrocinética in situ. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 125(1), 27- 35.

Ortiz, R. (2015). Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. *Revista Eubacteria*. Obtenido de https://www.um.es/eubacteria/Sintesis_de_la_evoluci%C3%B3n_del_conocimiento_en_Edafolog%C3%ADa_Eubacteria34.pdf

- Cruz, M. (2007). La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Galán, E., y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Rulkens, W., Grotenhuis, J., y Tichy, R. (1995). Methods for cleaning contaminated soils and sediments. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-79316-5_11
- García, I., y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola, Universidad de Granada. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
- Seoánez, M. (1999). Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Madrid: Mundi Prensa.
- Martínez, Y., y Hernández, R. (2004). Electroquímica: Energía y Ambiente. Obtenido de http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16741/energia_ambiente.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Geográfico Nacional [IGN], (2006). Establecen como sistema de proyección cartográfico para la república del Perú el sistema “Universal Transverse Mercator” (UTM). Obtenido de http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normas_pdf/mayo_2006/31-05-2006/pag_319823-319898.pdf
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], (2008).Somos OEFA. Obtenido de <https://www.oefa.gob.pe/somos-oefa/>

ANEXOS

ANEXO 01	Valor Estándar para calidad de suelos (Norma Internacional).....
ANEXO 02	Valor Estándar para calidad de suelos (ECA).....
ANEXO 03	Concentración de Zn en el suelo antes y después del tratamiento.....
ANEXO 04	pH en el suelo antes y después del tratamiento.....
ANEXO 05	Informe de ensayo.....
ANEXO 06	Cadena de custodia.....
ANEXO 07	Reporte Fotográfico.....
ANEXO 08	Certificado de Acreditación de Laboratorio.....
ANEXO 09	Cotización de análisis de suelo.....
ANEXO 10	Plan de muestreo.....

ANEXO 1. Valor estándar para calidad de suelo (normativa internacional)

Parámetro		Canadian Environmental Quality Guidelines
pH	Unid. pH	6-8
TPH	(mg/kg)	1 700
Mercurio		50
Arsénico		12
Bario		2 000
Cadmio		22
Cromo		87
Cobre		91
Plomo		600
Niquel		50
Selenio		2,9
Zinc		360

Fuente: Elaboración propia, CEQG: Canadian Environmental Quality Guideline

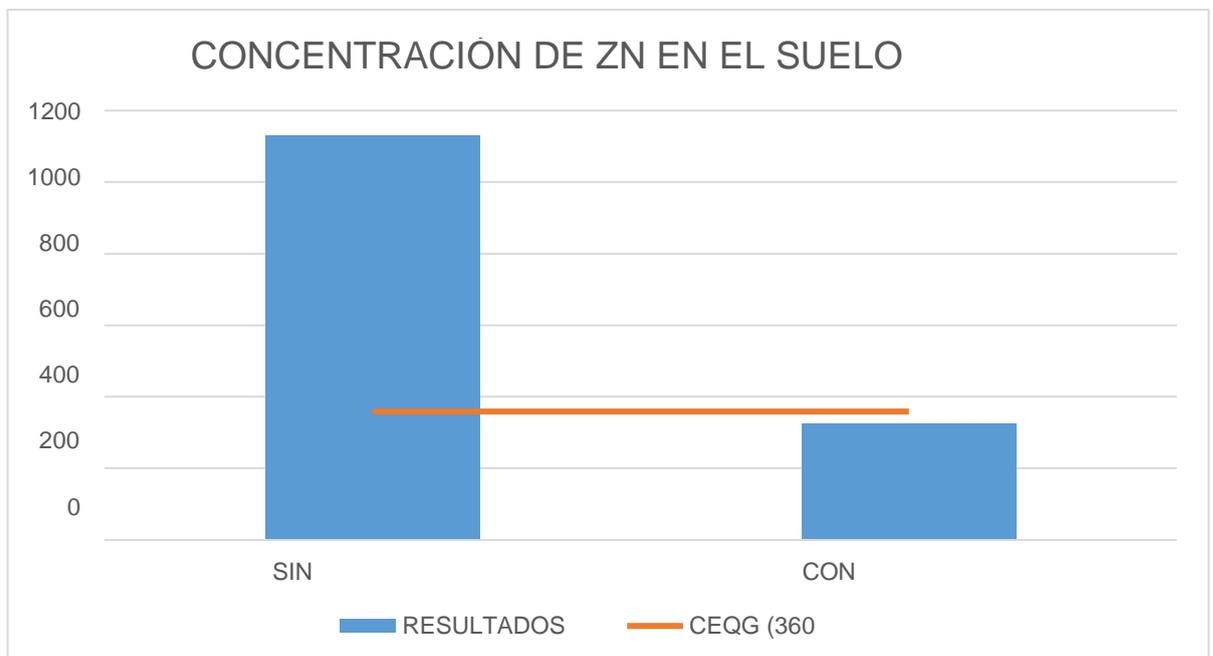
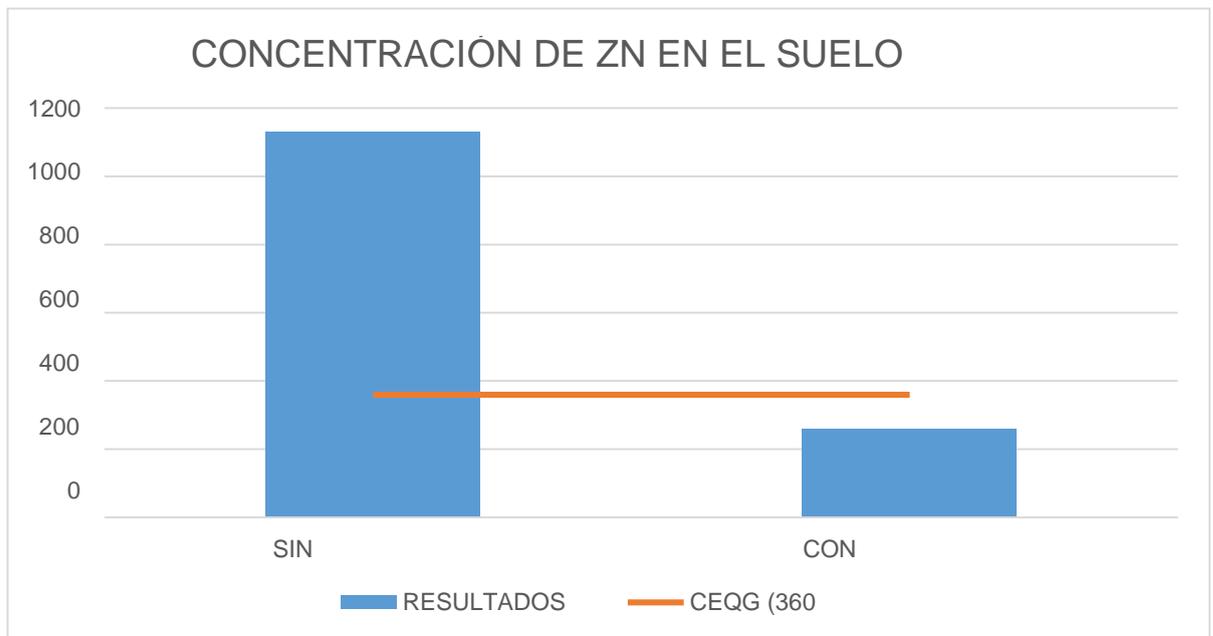
ANEXO 2. Valor Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

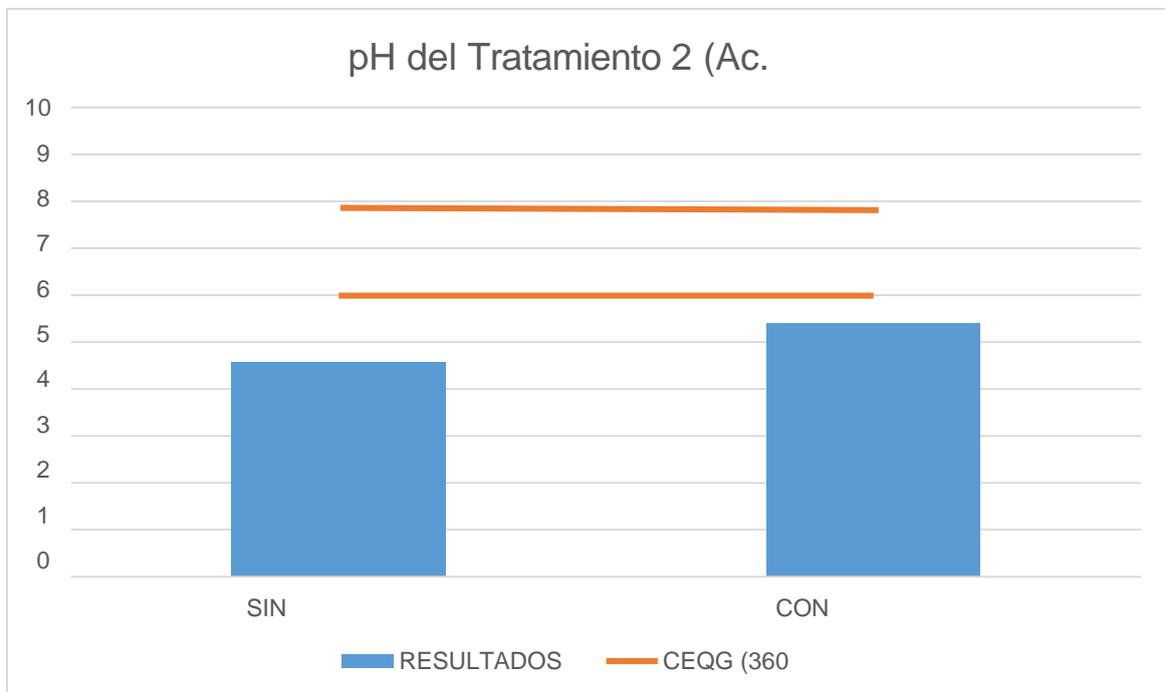
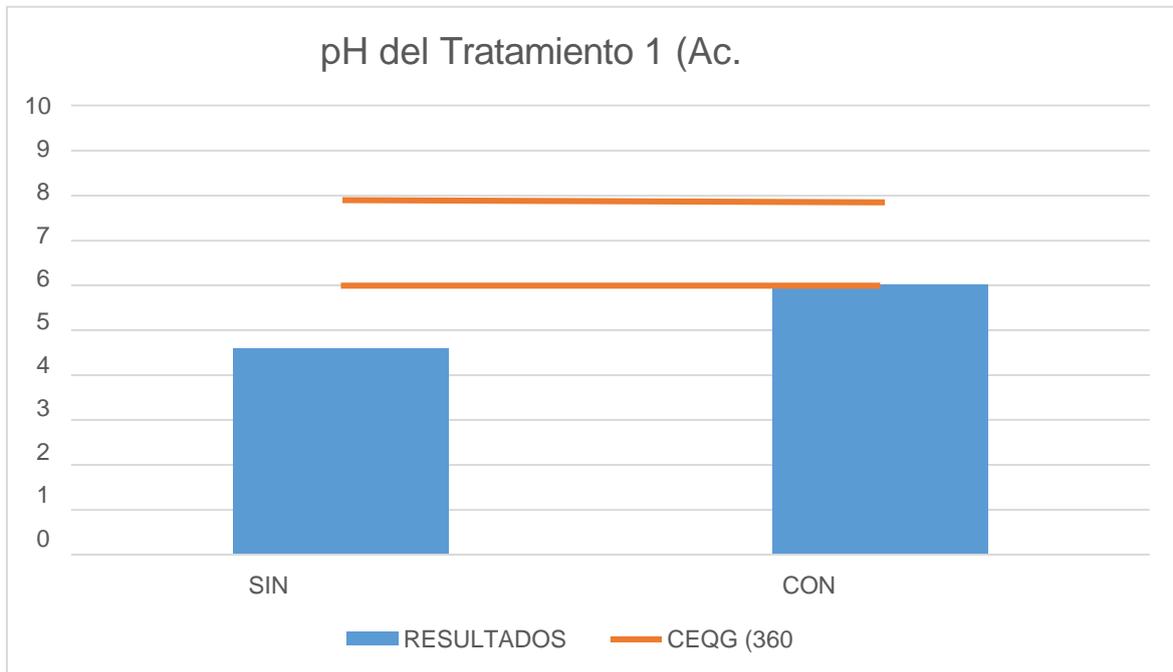
Parámetros en mg/kg PS ^(a)	Usos del Suelo ^(b)			Métodos de ensayo ^{(c)(d)}
	Suelo Agrícola ^(b)	Suelo Residencial/ Parques ^(b)	Suelo Comercial ^(b) / Industrial/ Extractivo ^(b)	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ^(e) EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ^(f)	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(e) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ^(g) (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ^(h) (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽ⁱ⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ^(j)	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ^(k)	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ^(l)
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y ó ISO 17690:2015

Fuente: (D.S. N° 011-2017-MINAM, 2017)

ANEXO 3. Concentración de Zn en el suelo, antes y después del tratamiento



ANEXO 4. pH en el suelo, antes y después del tratamiento



ANEXO 05. Informe de ensayo



INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-0371

I. DATOS DEL SERVICIO

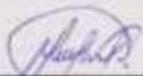
1. RAZÓN SOCIAL	: BREHMER LLANCARI QUISPE
2. DIRECCIÓN	: NO INDICA
3. PROYECTO	: ELECTORREMEDIACIÓN DE SUELOS
4. PROCEDENCIA	: SAN PEDRO DE COAYLLO
5. SOLICITANTE	: BREHMER LLANCARI QUISPE
6. ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-18-0160
7. PLAN DE MONITOREO	: NO APLICA
8. MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2018-02-28

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ	: SUELO
2. NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2018-02-15
4. PERÍODO DE ENSAYO	: 2018-02-15 al 2018-02-28

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÉCNICA
Metales Totales (a)	EPA 200.8	Espect ICP-MS


Marco A. Valencia Huerta
Ing. Químico
Gerente General
N° CIP: 152207

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis
(a) Los métodos indicados han sido tercerizado(x) a un laboratorio acreditado.

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÉCNICA
Conductividad (*)	NOM-021-RECNAT-2000AS-18	AS Medición de la Conductividad Eléctrica
pH (*)	NOM-021-RECNAT-2000AS-02	AS02 Medida en Agua
Textura (*)	NOM-021-RECNAT-2000- AS-09-2002	Determinación de la textura del suelo.
Densidad Aparente (*)	Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. 2012	Densidad Aparente

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

IV. RESULTADOS

ITEM			1
CÓDIGO DE LABORATORIO			M-0892
CÓDIGO DEL CLIENTE			PM-1
COORDENADAS UTM WGS 84			E: 391135.826 N: 8673248.826
MUESTRO			SUELO
INSTRUCTIVO DE MUESTREO			IC-OPE-27-10
FECHA			2015-02-09
HORA			16:00
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad(*)	mS/cm	0.01	4.23
pH(*)	pH	0.01	4.58
Densidad Aparente (*)	g/mL	-	1.50
Textura (*)			
Arena (*)	%	1	78.38
Limo (*)	%	1	17.28
Arcilla (*)	%	1	4.34
SUELO			FRANCO ARENOSO
Metales			L.D.
Aluminio (a)	mg/kg	0.2783	36274
Antimonio (a)	mg/kg	0.0105	0.8172
Arsénico (a)	mg/kg	0.0154	39.01
Bario (a)	mg/kg	0.0235	15.32
Berilio (a)	mg/kg	0.0161	0.2602
Boro (a)	mg/kg	0.0379	1.279
Cadmio (a)	mg/kg	0.0308	5.601
Calcio (a)	mg/kg	0.9412	7363
Cerio (*)	mg/kg	0.2	<0.20
Cobalto (a)	mg/kg	0.0189	80.92
Cobre (a)	mg/kg	0.0165	5125
Cromo (a)	mg/kg	0.0198	20.51
Estaño (a)	mg/kg	0.1168	0.6863

L.C.M. - Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

(a) Los métodos indicados han sido tercerizado(s) a un laboratorio acreditado

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

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

IV. RESULTADOS

ITEM		1	
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-0892	
CÓDIGO DEL CLIENTE:		PM-1	
COORDENADAS UTM WGS 84:		E: 301135.826 N: 8673248.829	
MATRIZ:		SUELO	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		IC-OPE-27.10	
MUESTREO		FECHA: 2018-02-09	
		HORA: 15:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.D.	RESULTADOS
Metales (*)			
Estroncio (a)	mg/kg	0.0607	13.37
Fosforo(*)	mg/kg	0.3	491.90
Hierro (a)	mg/kg	0.4553	105730
Litio (a)	mg/kg	0.0146	3.615
Magnesio (a)	mg/kg	0.3061	19296
Manganeso (a)	mg/kg	0.0214	2274
Mercurio (a)	mg/kg	0.0159	0.2047
Molibdeno (a)	mg/kg	0.0168	4.100
Níquel (a)	mg/kg	0.0219	59.73
Plata (a)	mg/kg	0.0135	6.001
Plomo (a)	mg/kg	0.0141	82.00
Potasio (a)	mg/kg	1.0191	574.5
Selenio (a)	mg/kg	0.0421	6.394
Sodio (a)	mg/kg	1.0191	108.2
Talio (a)	mg/kg	0.0140	0.1612
Titanio (a)	mg/kg	0.0511	681.2
Vanadio (a)	mg/kg	0.0205	111.0
Zinc (a)	mg/kg	0.0458	1131

L.C.M. : Límite de Cuantificación del Método

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

(a) Los métodos indicados han sido tercerizado(s) a un laboratorio acreditado

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

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

"FIN DEL DOCUMENTO"

ANEXO 7. Reporte fotográfico

Toma de muestra en la ex-Mina Santa Rosa de Cata (Zona de relaves)



Materiales del sistema de electroremediación



Desarrollo del sistema electroremediación

Estudio de la muestra



Elaboración del electrolito



Medición de pH de la muestra



Preparación de la muestra con agente humectante



Tratamiento 1



Tratamiento 2



ANTES DEL TRATAMIENTO

Medición de pH - T1



Medición de pH - T2



DESPUES DEL TRATAMIENTO

Medición de pH - T1



Medición de pH - T2



ANEXO 08. Certificado de acreditación de laboratorio

<h1>Certificado</h1>	 <p>INACAL Instituto Nacional de Calidad</p> <p>Acreditación</p>
<p>La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE.</p>	
<p>OTORGA la presente Acreditación a:</p>	
<h2>ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.</h2>	
<p>En su calidad de Laboratorio de Ensayo</p>	
<p>Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2008, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.</p>	
<p>Sede Acreditada: Domicilio Prolongación Zarumilla, Mz. D2 Lote 3 Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao y departamento de Lima.</p>	
<p>Fecha de Acreditación: 25 de julio de 2016</p>	<p>Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2019</p>
<p>Registro N° LE - 096 Fecha de emisión: 12 de agosto de 2016 DA-acr-01P-02M Ver. 00</p>	
 <p>Auguste Mello Romero Director - Dirección de Acreditación</p>	

ANEXO 09. Cotización de análisis de suelo



L: FC-ADM064
R: 02
E.V.: 2017-May-17

PROFORMA DE SERVICIO

PROFORMA N°: **P - 18 - 0356 Ver.- 2**

Fecha: **14/02/2018**

ANALYTICAL LABORATORY E. I. R. L.

Somos un Laboratorio que brinda Servicios Ambientales de Monitoreo y Análisis en Matriz Aire, Emisiones, Aguas, Salud Ocupacional Incluye pliegue ambiental, superficies vivas e inanimadas, Suelos y Sedimentos, entre otros servicios ambientales que se coordinan.

Contamos con acreditación NTP-45QNEC 17025:2006 con Registro LE 096 y alcance de acreditación descrito en www.inacal.gov.pe

Presentamos nuestra Proforma:

Datos del Cliente

Razón Social	Brehmer Liancaif Quipa		
Dirección		Teléfono / Celular	978232747
Contacto	Brehmer Liancaif Quipa	e-mail	brehmerliancaifquipa@gmail.com
Facturación		RUC	
Referencia / Procedencia			

SERVICIO SOLICITADO:

MATRIZ: < SUELO >

ANÁLISIS	METODOLOGÍA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD	N° MUESTRAS	PRECIO UNITARIO < S/ - >	PRECIO SUB TOTAL
METALOS PESADOS: Antimonio, Arsénico, Boro, Berilio, Boro, Cadmio, Calcio, Cromo, Cobalto, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plomo, Sodio, Selenio, Talio, Selenio, Tungsteno, Vanadio, Zinc	EPA Method 305.1 A. Revision 1. February 2007 / EPA METHOD 6020A. Revision 1. January 198	-	mg/kg MS	1	150.00	150.00
pH (*)	Extensión 1.1	-	Unid. Ph	1	100.00	100.00
Conductividad Eléctrica (*)	Extensión 1.1	-	µS/cm			
Tuercia (Anillo Llave, Anillo X)	Boynton 06	-	%			
Densidad Aparente (*)	NTP 308 142	-	-			
SUB-TOTAL -1						250.00

Se Identifica Parametros Acreditados ante INACAL, O.A

LCM Lista de Cuantificación del Método

(*) Los métodos e instrumentos no han sido acreditados por el INACAL O.A

(**) Parámetro Subcontratado otro laboratorio acreditado ante INACAL O.A

GASTOS ADMINISTRATIVOS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO < S/ - >	PRECIO SUB TOTAL
1 Envío de informe de ensayo + Factura (01 vez)	1	50.00	50.00
SUB-TOTAL -2			50.00

SUB-TOTAL GENERAL SIN IGV (1+2)	300.00
IGV 18%	54.00
TOTAL SERVICIO - CON IGV	354.00

Observaciones / Comentarios

El cliente reconoce los libros en las instalaciones del laboratorio ALAB.
El cliente reconoce su informe y facturas en nuestras instalaciones.

CONDICIONES DEL SERVICIO

1. Por razones ajenas a responsabilidad de ALAB E.I.R.L., que involucre:

- a) Días adicionales de medición,
- b) Postergación y/o cancelación,
- c) Ocurra de imprevistos.

Se informará al Cliente y se considerará en la Facturación Final los montos correspondientes por los gastos adicionales incurridos no contemplados en la presente.

2. Para la Recepción e Ingreso de las Muestras, el contratante debe presentar:

- a) Orden de Servicio, y
- b) Cadena de Custodia, con el adecuado registro de los respectivos Datos Requeridos.

Caso contrario coordinar soporte requerido y/o necesario.

Documento Controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB.

12

PROFORMA DE SERVICIO

PROFORMA N°: **P - 18 - 0356 Ver.- 2**

Fecha: **14/02/2018**

3. Los resultados de los análisis serán reportados al cliente en un Informe preliminar para confirmación de Datos Administrativos; Vía Digital por e-mail a la persona solicitante y/o contacto que autorice. El tiempo de Reporte desde la recepción o ingreso de las muestras al Laboratorio es: Métiz, Aire, Ruido, Agua es de 07 días hábiles, para Suelos 10 días hábiles, salvo alguna excepción la cual será oportunamente comunicada.

Entido el Informe preliminar se brindará 48 horas para que el cliente revise información y/o haga llegar alguna observación. Pasado este tiempo se dará por aprobado el Informe preliminar y se procederá con la impresión del Informe de Ensayo, en el formato respectivo y con las firmas de los Signatarios correspondientes.

Cualquier solicitud posterior de cambio, se emitirá Suplemento, al respectivo costo (Consultar con Administración Ventas: ventas@alab.com.pe; administración@alab.com.pe)

4. El cliente es responsable de ingresar tantas Muestras como Material solicitado y entregado; Envases o frascos, Cooler, Ice pack, etc.
Para material filtrado de entrega/devolución pasado de hasta 15 días calendario y según estado de devolución, será considerado en Facturación a los costos correspondientes. Consultar a Administración-Ventas

5. No se aceptan devoluciones de materiales en mal estado o fuera de tiempo de preservación de: Filtros, Soluciones Captadoras.

6. La toma de muestras Diferentes se realizará según aplique y previo solicitud específica del contratante o entidad solicitante.
El tiempo de custodia será de acuerdo a las características de la muestra, análisis y/o perecibilidad de la misma.

II. CONDICIONES DEL PAGO

1. Los precios unitarios no incluyen IGV. Todo pago en Dólares Americanos, se realizará con el tipo de cambio de acuerdo a lo establecido por la SUNAT, al día de emisión de la factura.

2. Los precios corresponden al acuerdo previamente especificado, que puede incluir: Muestreo o toma de muestras, Mediciones en campo, Transporte del personal, alimentación, alojamiento, seguridad de equipos en campo, Transporte de muestras, Análisis en el Laboratorio, entre otros Gastos Operativos. Ver ítem I Condiciones del Servicio

3. Forma de Pago: **100% adelantado**

El pago podrá realizarse a través de:

a) Cheque a nombre de ANALYTICAL LABORATORY E. I. R. L. N° RUC: 2060061901

b) Transferencia o Depósito a nuestras cuentas bancarias, adicionalmente se enviará el voucher de pago escaneado, indicando el Orden de Compra correspondiente, por e-mail a administración@alab.com.pe

III. CUENTAS BANCARIAS

Banco	Moneda	N° Cuenta Corriente	Código Cuenta Interbancaria
Banco de Crédito del Perú	Soles	192-235017-4-0-30	00219200235017403034
Banco de Crédito del Perú	Dólares	192-2354413-1-58	00219200235441315836
* Cuenta Corriente de Deducciones (10%)			
Banco de la Nación	Soles	00-001-136380	-

* Sistema de Pago de Obligaciones Tributarias D.L. No. 940 (10%) Aplicable por ingresos mayores a S/ 700.00

IV. ACEPTACIÓN DE LA PROFORMA

1. Aceptada la Proforma, le solicitamos su confirmación mediante Comunicación afirmativa vía e-mail, para inicio de operaciones del servicio, a ventas@alab.com.pe, administración@alab.com.pe, logística@alab.com.pe

2. Proforma Válida por 30 días calendario desde su emisión, excepto relación contractual.

Atentamente,

Ing. Marco Valencia Huerta
Jefe de Administración

ANALYTICAL LABORATORY E. I. R. L.
Protección Civil No. 11, 02, U. 03, Proteccion Civil Aliso Centro
Sabanilla, Calle Lima
Tf: 01-4201399, RUC: 2060061901
e-mail: ventas@alab.com.pe
administración@alab.com.pe
logística@alab.com.pe

ANEXO 10. Plan de muestreo de identificación

El procedimiento para el desarrollo de la toma de muestras de suelo se realizó el 9 de Febrero del 2018, según lo establecido por la R.M. N° 085-2014-MINAM (guía para muestreo de suelo) en el cual se procedió a establecer un plan de muestreo llamado “Identificación del sitio contaminado” que se estructuró de la siguiente manera:

1.1. Datos generales

1.1.1. Objetivos del muestreo

Según el D.S. N° 011-2017-MINAM los valores que sobrepasan o no los estándares de calidad ambiental del suelo, que son obtenidas de muestras representativas de un muestreo de identificación nos permiten verificar la contaminación del suelo y para la presente investigación el cumplimiento de la concentración de Zn en el suelo según el valor establecido por la norma canadiense.

1.1.2. Resumen de estudios previos

Se dispone de información relevante de trabajo de campo realizado en anteriores investigaciones por estudiantes de la UNTELS de un trabajo de campo llamado Plan de descontaminación de suelos, Minera Cata S.A. el cual se detalla en la Tabla 1

Tabla 1. Puntos de muestreo de calidad de suelos.

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
PM-1	8606133	353770
PM-2	8606047	353842
PM-3	8605968	353886
PM-4	8605935	353982

Fuente: Elaboración propia, sistema de coordenadas UTM: WGS 84, zona 18.

Parámetros	Cod. Cliente		PM-S1	PM-S2	PM-S3	PM-S4	ECA		
	Unidad	LD					Resultados		
Aluminio	mg/Kg	0.9	21906	22000	3681	31636	-	-	-
Antimonio	mg/Kg	0.6	0.8	0.6	1.2	0.9	-	-	-
Arsénico	mg/Kg	0.54	75	92.9	28.7	45.7	50	50	140
Bario	mg/Kg	0.06	87	29	37	13.5	750	500	2000
Berilio	mg/Kg	0.02	0.18	0.21	0.31	0.22	150	150	1900
Bismuto	mg/Kg	0.8	9.8	11	7.1	3.0	-	-	-
Boro	mg/Kg	0.2	28	29	34	28	-	-	-
Cadmio	mg/Kg	0.97	2.82	5.60	13.78	12.91	1.4	10	22
Calcio	mg/Kg	3	19008	31500	23832	18400	-	-	-
Cerio	mg/Kg	0.4	6	4	5	4	-	-	-
Cobalto	mg/Kg	0.16	24.75	58.44	54.07	56.2	-	-	-
Cobre	mg/Kg	0.08	578	2152	7576	4708	-	-	-
Cromo	mg/Kg	0.09	2	48	29	20	64	64	87
Estaño	mg/Kg	0.3	0.3	3.9	2.3	0.3	-	-	-
Estroncio	mg/Kg	0.13	18	19	29	19	-	-	-
Fosforo	mg/Kg	1.4	4238	727	837	711	-	-	-
Hierro	mg/Kg	0.6	57623	63180	57334	85349	-	-	-
Litio	mg/Kg	0.7	12	11	9	8	-	-	-
Magnesio	mg/Kg	0.2	16167	23061	25459	21871	-	-	-
Manganeso	mg/Kg	0.1	761	3058	2882	2725	-	-	-
Molibdeno	mg/Kg	0.75	1	1	3	1	-	-	-
Niquel	mg/Kg	0.29	3	22	75	49	1600	1600	20000
Plata	mg/Kg	0.09	0.57	3	6	4	-	-	-
Plomo	mg/Kg	0.5	12.0	75.8	84	106.7	70	40	1200
Potasio	mg/Kg	2	5654	1102	1220	842	-	-	-
Selenio	mg/Kg	0.5	0.6	1	3	0.6	390	390	5100
Silicio	mg/Kg	0.1	1570	4105	5447	3219	-	-	-
Sodio	mg/Kg	1	1324	409	381	142	-	-	-
Talio	mg/Kg	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	5.2	5.2	67
Titanio	mg/Kg	0.2	820	692	563	437	-	-	-
Vanadio	mg/Kg	0.1	76	141	147	132	78	78	1000
Zinc	mg/Kg	0.1	227	800	1586	1496	-	-	-

Figura 1. Informe de ensayo N° MA15120529

Fuente: Estudiantes de la UNTELS.

1.1.3. Localización geográfica del sitio.

Tabla 2. Puntos de muestreo de calidad de suelos.

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Descripción
	Norte	Este	
PM-1	8673248.829	0391135.826	Zona de relaves

Fuente: Elaboración propia, sistema de coordenadas UTM: WGS 84, zona 18.



Figura 2. Punto de muestreo

Fuente: Elaboración propia.

El pueblo de Santa Rosa De Cata se localiza en el distrito de San Pedro de Coayllo, perteneciente a la provincia de Cañete, del departamento de Lima, Perú. Además, se encuentra a una altitud de 964 m.s.n.m., dentro de la cuenca del río Omas.

- Distrito: Coayllo
- Provincia: Cañete
- Región: Lima
- Latitud sur: 12° 36' 8.5" S (-12.60235641000)
- Longitud oeste: 76° 20' 15.6" W (-76.33765715000)
- Altitud : 964 m.s.n.m.



Figura 3. Localización del pueblo de Santa Rosa de Cata.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Localización de Santa Rosa de Cata en coordenadas UTM.

Coordenadas UTM	
Norte	Este
8606467.411669953	354703.1463483282

Fuente: Elaboración propia, sistema de coordenadas UTM: WGS 84, zona 18.

1.1.4. Delimitación de las áreas de interés de muestreo

Luego de la visita técnica de campo realizada y tomando como referencia el análisis realizado, se determinó como el área de potencial interés las zonas adyacentes a la zona de relaves.

Tabla N° 4: Descripción del foco potencial de contaminación

ZONA	DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
<p style="text-align: center;">Zona de relaves</p>	<p>Los pasivos ambientales de la ex-mina Santa Rosa de Cata es el conjunto de desechos tóxicos o pasivos de relaves (cobre, cadmio, plomo, zinc, etc.) que deja la minera informal, está constituido por la mezcla de rocas molidas y minerales de ganga, son contaminantes finos, también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, como el óxido de hierro, aluminio, mercurio y metaloides como el arsénico.</p>	
		

1.2. Planeación y procedimiento de toma de muestra

1.2.1. Tipo de muestreo

Para el tipo de muestreo del sitio contaminado, con el objetivo de conseguir muestras propias del lugar de los cuatro puntos de muestreo se realizará el Muestreo de Identificación (MI), y, por otra parte, establecer si el suelo en estudio supera el valor establecido por la normativa canadiense.

1.2.2. Localización y distribución y número de puntos de monitoreo

A. Localización:

Se obtuvieron cuatro submuestras dentro del área de muestreo, las cuales se homogenizaron y se obtuvo una muestra representativa por la técnica de cuarteo de suelos, la cual posee la siguiente coordenada:

Tabla N° 5: Puntos de Muestreo de Identificación

Puntos de muestreo de identificación de la Mina Santa Rosa de Cata			
Zona	Código	Coordenadas UTM WGS 84	
		Este	Norte
Zona de relaves	PM-1	391135.826	8673248.829

Fuente: Elaboración propia

B. Distribución:

Para la distribución de los puntos de muestreos se tuvo en cuenta la fisiografía del terreno, las condiciones climáticas, la profundidad, entre otros factores. Por tanto, para esta se determinó aplicar el patrón de muestreo con distribución aleatoria, es decir, los puntos son elegidos al azar.

C. Número de puntos de monitoreo:

El número mínimo de puntos de muestreo se establece en función del área de potencial interés, dentro del campo de estudio se consideró que el área total de muestreo es menor a 0.1 ha, por tanto, son cuatro puntos de muestreo del sitio, según los establecido por la guía para muestreo de suelos.

Tabla N°6: Número mínimo de puntos de muestreo para la Muestra 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: MINAM, 2014.

Tabla N° 7: Números de muestras por área de potencial interés.

Cantidad de puntos de muestreo de identificación	
Zona	Muestreo de identificación
Zona de relaves	4

Fuente: Elaboración propia.

D. Profundidad de muestreo

En el trabajo campo realizado se tomaron 4 submuestras a una profundidad de 20 cm, para luego obtener una muestra representativa por la técnica de cuarteo de suelos.

E. Tipos de muestras

Antes de la obtención de muestras, se realizó la limpieza de la zona, eliminando cualquier residuo. Las muestras obtenidas en el lugar son simples y superficiales. Se tomaron muestras simples superficiales (20 cm de profundidad).

F. Cálculo del número de muestras

La cantidad total de submuestras que se tomaron en el trabajo de campo fue cuatro (04), luego se obtuvo una muestra representativa.

G. Parámetros de campo

Debido al periodo de la extracción de minerales de la ex-Mina informal Santa Rosa de Cata, se ha considerado realizar la toma de muestras con la finalidad de identificar la existencia de contaminación mediante la visita técnica de campo.

Para los objetivos del proyecto, se tomó en cuenta el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos en el anexo del D.S. 011-2017-MINAM y el uso referencial de la normativa canadiense para suelo (actividad extractiva).

A partir de ello se seleccionaron los parámetros a evaluar, los cuales se mencionan en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros seleccionados para el monitoreo

Parámetros	Metodología	Unidades
Zn	EPA Method 3051 A. Revisión1. February 2007./ EPA METHOD 6020A. Revision 1. January 199	mg/kg MS
pH	Extracción 1:1	Und. pH
Conductividad Eléctrica	Extracción 1:1	dS/m
Textura	Bouyoucos	%
Densidad Aparente	NTP 339.143	-

Fuente: Elaboración propia.

H. Equipo de muestreo de suelos

Se usaron los siguientes instrumentos para el trabajo de campo: rastrillo de mano, lampa, pico y barreta, priorizando que el material de estas sea de acero inoxidable o plástico, además, se usaron envases, escobilla sintética, rociadores y libreta de campo.

I. Estrategias para garantizar la calidad de muestreo

Luego de extraer la muestra de suelo, se escribió los datos de muestreo en la libreta, seguidamente se colocó en recipiente y etiqueto de acuerdo a lo siguiente:

- ✓ Se asegura la originalidad de la características de la muestra cerrando completamente el recipiente
- ✓ Al recolectar cada muestra, se realiza el etiquetado en el recipiente.
- ✓ La etiqueta debe ser claro y no salir de las medidas del recipiente.
- ✓ La etiqueta debe tener su clave de identificación, zona de muestreo, así como la fecha y hora.
- ✓ Finalmente, la muestra debe ser llevada al laboratorio para su análisis.

J. Preservación de muestras

Para evitar alteraciones en la naturaleza de la muestra producidas por agentes externos, durante el transporte de la muestra se usó un cooler para preservar la temperatura alrededor de 4 °C y cuidarlos del sol.

La muestra es acompañada de su cadena de custodia, donde el original acompaña y se incluye en el cooler para su traslado y análisis en el laboratorio.

K. Tipo de recipientes y volumen de muestras

En el trabajo de campo se utilizó como recipiente bolsas de polietileno densa para la conservación de las muestras y mantenerlas en estado fresco, a una temperatura entre 4 °C y 6 °C.

L. Plan de cadena de custodia

Al número o código de la muestra se registra en la cadena de custodia que contenga los siguientes datos: nombre del cliente, dirección de la toma de muestra, nombre del responsable de muestreo, coordenadas UTM del punto de muestreo.

