



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades  
mineras”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:  
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Gambini Valverde Letty Rosayra

Número ORCID: 0000-0001-9319-2846

Asesor:

Edgar Avelino Marcelino Tarmeño

Número ORCID: 0000-0003-0301-0629

Lima – Perú

2020

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°258-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 26 de noviembre de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades mineras**, presentado por:

- **Letty Rosayra Gambini Valverde**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades mineras** con N° de registro de la carrera: **094-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Edgar Avelino Marcelino Tarmeño** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

T // (51) 610 6738  
informes@cientifica.edu.pe  
cientifica.edu.pe

**Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades mineras**

Gambini Valverde Letty Rosayra

*Universidad Científica del Sur*

[180000379@ucientifica.edu.pe](mailto:180000379@ucientifica.edu.pe)

## RESUMEN

El aumento continuo de la población y su consumo a una gran escala, ocasionan la contaminación del suelo debido a que el sistema crea diferentes necesidades artificiales demandando de recursos naturales para su producción, recurriendo a la explotación de territorios generando impactos ambientales. La contaminación de suelos por minería a nivel mundial, nacional y en la actualidad en el Perú, generan conflictos sociales y la destrucción y desertización de extensas hectáreas de suelo habiendo contaminaciones impactantes en diferentes zonas del país reflejándose principalmente en la devastación del suelo y contaminación del agua.

Existen diferentes tipos de explotación minera, relacionados al mineral a extraer y el tipo de método que se utiliza para la extracción. Estos se caracterizan por el tamaño de suelo que remueven, las sustancias químicas que utilizan en la actividad minera y la intensidad de impacto ambiental que generan. Se reconocen diferentes tipos o métodos de explotación minera. Estos son las siguientes: minas a superficie o cielo abierto, minas subterráneas y minería de dragado.

Para la remediación de suelos contaminados por minería se aplican diferentes métodos o tratamientos, teniendo en cuenta el tipo de contaminante, características del suelo, eficiencia del tratamiento, viabilidad económica y el tiempo estimado para su desarrollo. Las tecnologías más comunes para la remediación de suelos impactados son los tratamientos fisicoquímicos, térmicos y biológicos; teniendo en cuenta que el método de tratamiento para remediar suelos debe ser la más apropiada.

**Palabras clave:** suelos, minería, contaminación, impactos, tratamiento, conflictos, remediación, eficiencia

**ABSTRACT**

The continuous increase of the population and its consumption on a large scale, cause soil contamination because the system creates different artificial needs demanding natural resources for its production, resorting to the exploitation of territories generating environmental impacts. The contamination of soils by mining worldwide, nationally and nowadays in Peru, generate social conflicts and the destruction and desertification of large hectares of land, there are shocking contamination in different areas of the country, mainly reflected in the devastation of soil and pollution. of the water.

There are different types of mining, related to the mineral to be extracted and the type of method used for extraction. These are characterized by the size of the soil they remove; the chemical substances they use in mining activity and the intensity of environmental impact they generate. Different types or methods of mining are recognized. These are the following: surface or open pit mines, underground mines and dredging mining.

For the remediation of contaminated soils by mining, different methods or treatments are applied, taking into account the type of pollutant, soil characteristics, treatment efficiency, economic viability and the estimated time for its development. The most common technologies for the remediation of impacted soils are physicochemical, thermal and biological treatments; taking into account that the method of treatment to remedy soils should be the most appropriate.

**Keywords:** soils, mining, pollution, impacts, treatment, conflicts, remediation, efficiency

## REVISIÓN TEÓRICA

La minería, a diferencia de otros procesos productivos, se desarrolla en un tiempo limitado. Esta actividad produce cambios en la superficie terrestre, en ocasiones irreversibles durante el proceso de extracción (Aramburu & Oloya, 2012). Asimismo, la alta cotización de los metales en los mercados internacionales, principalmente en China y países europeos promueve el interés de compañías trasnacionales en realizar la extracción de minerales en áreas donde no hay una concentración elevada de metales (Ruiz, 2004).

Asu vez, el necesario consumo a gran escala de productos, bienes y servicios va creciendo debido al avance tecnológico, el aumento de la población y requerimientos de productos artificiales creados por el sistema, todo ello, requiere recursos naturales para su elaboración, generando la destrucción sin precedentes de extensos territorios debido a que se recurre a ellos (Latorre & Tovar, 2017).

En los últimos años, el crecimiento de la economía peruana es impulsado principalmente por la expansión de la industria minera y por la inversión privada. Siendo en particular la industria minera la que en los últimos tiempos ha generado escenarios de conflicto, generalmente debido al temor de la población por contaminar sus recursos naturales como el agua, la tierra y aplicar técnicas inapropiadas para el cuidado del medio ambiente (Saade Hazin, 2013).

Por su parte, la minería aurífera, en el Perú se desarrolla en distintos lugares, como Ucayali, Amazonas, Loreto, Arequipa, Ica, Puno, La Libertad, Piura, Lima y particularmente en diversos lugares de Madre de Dios (Brooks et al, 2007). Donde inicialmente las actividades se desarrollaban en suelos aluviales con técnicas manuales

artesanales, generando la rápida degradación del medio ambiente originado por la contaminación con mercurio y demás sustancias, originando la deforestación masiva, la compactación del suelo y contaminación de sus recursos hídricos. Siendo el último lugar de los desechos mineros la corteza terrestre (Álvarez et al. 2011).

En el 2010 en el Perú, se registraron 48. 704 concesiones mineras que afectaron a 21 millones de ha, ya que se exporta alrededor de 6 millones de toneladas de Cu, Ag, Zn al año. Así mismo, tan solo una explotación como Yanacocha en Cajamarca, se desarrolla en una extensión de 10 Km de largo y 5 Km de ancho. De igual forma, en la amazonia peruana, hay 5.812 concesiones mineras que ocupan una extensión de 22.587 Km<sup>2</sup> de territorio (Blanca, 2011).

Karlen, Mausbach, Doran, Cline, Harris & Schuman (1997), realizaron un estudio en Madre de Dios, en la comunidad de Fortuna con el objetivo de evaluar el grado de contaminación de suelos originados por metales pesados procedentes de minera aurífera aluvial y además evaluar las características morfológicas, y fisicoquímicas de los suelos perjudicados. Como resultado se obtuvo que dichos suelos son poco fértiles, hay fuertes reacciones acidas en los niveles de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y sumado a ello la textura del suelo es gruesa y no presenta estructura.

Como consecuencia negativa, se refleja principalmente que el suelo presenta modificaciones en sus características textuales, presentando decrecimiento de la fracción arcillosa a mucho más grandes; además de estos presentándose Limitaciones a la actividad biológica, lo que genera el rompimiento de los ciclos biogeoquímicos y dificultad en el enraizamiento, y como consecuencia a causa de la escases de materia

orgánica los suelos presentan baja retención del agua (Martínez, Cabrerar, Brugerar & Madrazo, 2013)

Así mismo, la minería genera residuos, los mismo que sin un tratamiento adecuado, tiene un impacto negativo para la formación de suelo en su cubierta vegetal, capacidad de cambio, en la textura, estructura edáfica, propiedades químicas, capacidad de enraizamiento, contenido de nutrientes fundamentales, capacidad de retención de agua ciclos biogeoquímicos (Puga et al, 2006). Los impactos de la minería, también tienen repercusión en la sociedad debido a que afecta suelo, agua destinado a la agricultura y ganadería (Effen, 2010).

### **I. La contaminación del suelo por la minería en la actualidad**

En la actualidad la minería en el Perú ha logrado situarse entre los primeros productores de cobre, estaño, zinc, plomo, plata y oro teniendo un impacto muy fuerte en la economía peruana (MINEM, 2018). Según la última estadística sobre concesiones mineras de noviembre del 2017, el 14.07% del territorio nacional está concesionado a la actividad minera, del cual cerca del 50% son tierras de las comunidades campesinas. Además, el total de pasivos ambientales mineros según la última actualización es de 8, 448 (MINEN, 2019). De los cuales el 80% no tienen un responsable identificado, perjudicando principalmente al suelo ya que es donde son vertidos (Red Muqui, 2015).

A nivel territorial, los conflictos van aumentando, pasando del 50% del total de conflictos socioambientales de 2008 a 2011 al 64% en el 2016 al 2017, generando que se impida el acceso a territorios para realizar la exploración y explotación minera (Aste, 2018). En los informes de la defensoría del pueblo, se ha mostrado un incremento de conflictos sociales entre diciembre del 2017 y mayo del 2018, donde los conflictos han pasado de

169 a 198. Siendo la zona del país donde se registró la mayor cantidad de conflictos en Ancash, representando el 14.1% del total nacional (De Echave, 2018).

En cuanto a la minería ilegal, en la región de Madre de Dios se han devastado 50,000 ha de suelo de la Reserva Nacional de Tambopata, las empresas causantes de esto son casi en su totalidad ilegales. La extracción de minerales se realiza con mecanismos como las dragas. Este mecanismo causa daños, ya que es usado para remover material orgánico generando mayor impacto en el suelo (Vivanco, 2014).

En el año 2015, el programa presupuestal (PP) 136 denominado “Prevención y Recuperación Ambiental de Sitios Contaminados y Áreas degradadas por Minería Ilegal e Informal (pequeña minería y minería artesanal)”, realizó un estudio en la región de Puno, de sitios contaminados en los distritos de Ananea, Alto Inambari, Cojata, Ayapata, Ollachea, Phara, Sina y San Gabán; evaluándose 35 lugares afectados. El análisis mostró contenido alto de mercurio, llegando a superar los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola en 6 puntos localizados en distritos de Alto Inambari, Ananea y Ollachea, (MINAM, 2015).

Asimismo, López (2017) realizó un informe médico en los Andes del Perú, comprobando la presencia de metales como cadmio, arsénico, plomo y mercurio en organismos de menores de edad pertenecientes a las ciudades de Quiulacocha, Cerro de Pasco y la Oroya, Junín. Esto debido a que los menores son expuestos a actividades mineras. Una característica tradicional en estas ciudades, son su producción minera y la histórica exposición de su población a metales pesados.

## **II. Tipos de contaminación de suelo por la minería**

Generalmente la actividad minera, provoca impactos ambientales significativos, tales como la devastación de suelos y cambio de uso; provocando limitaciones físicas, biológicas y químicas; dificultando la formación vegetal (Martínez et al. 2013)

El tipo de elementos contaminantes en minería, dependen de factores como el depósito ambiental (Seal & Foley, 2002), siendo frecuentes elementos como: azufre, cobre, zinc, cadmio, plomo, entre otros. Así que cuando los restos mineros generados no se disponen adecuadamente sobre el terreno, pueden generar importantes problemas de contaminación de suelo (Navarro, 2015). Se reconocen diferentes tipos de explotación minera como: minas a superficie o cielo abierto, minas subterráneas y minería de dragado (Lopez, 2015) .

La minería a cielo abierto es una actividad industrial donde se realiza la remoción de gran tamaño de suelo y subsuelo para posteriormente ser procesada de modo que se extraiga el mineral. Para ello, se utiliza grandes cantidades de cianuro, mercurio y de más sustancias que son altamente contaminantes. Esta actividad genera múltiples impactos en los cuales destacan afectación de suelos, impactos sobre la flora ya fauna, contaminación de aire y cambio en el microclima como el impacto escénico posterior a la contaminación. Adicional a esto, afectaciones directas que sufre la población por la afectación del entorno en general (España & Serna, 2016).

Por su parte, en las minas subterráneas, se extrae una cantidad de material para el acceso al yacimiento minero el cual se logra mediante un túnel. La minería subterránea es una forma menos destructiva para acceder al yacimiento minero, sin es más costoso

y genera riesgos a la seguridad mucho más grandes que la minería superficial (Alianza Mundial de Derecho Ambiental, 2010).

En la minería submarina o de dragado, se extraen los sedimentos del fondo del cauce de ríos para obtener oro que se pueda encontrar en ellos sedimentos. Causando la afectación de los cauces y aporte de sedimentos por extracciones de minerales metálicos aluviales. Además de la degradación del suelo empezando por la definición de las áreas de interés a partir de la prospección, eventualmente dejando cargas de sedimentos en los ríos (Mosquera, Leal, Cadena, Castaño, contreras, Días & Pérez, 2016).

### **III. Métodos de remediación de suelos contaminados**

Actualmente se disponen una serie de tecnologías de recuperación de suelo contaminado que se vienen aplicando habitualmente. Estas tecnologías están hechas de modo que puedan aislar o destruir contaminantes mediante procesos fisicoquímicos, térmicos o biológicos. El uso de las tecnologías depende del tipo de contaminante, características del suelo, eficiencia del tratamiento, tiempo estimado para su desarrollo y viabilidad económica (Reddy, Admas & Richardson, 1999)

Las diferentes tecnologías presentan una serie de métodos para descontaminación del suelo, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas del contaminante para destruir, aislar o contener la contaminación; estos métodos son los siguientes: a) Fisicoquímico (flushing, extracción, electrorremediación, lavado, barreras permeables activas, Inyección de aire comprimido, pozos de recirculación, oxidación ultravioleta). b) térmicos (desorción térmica e incineración), utilizando el calor para promover la volatilización, descomposición o inmovilización del contaminante. c) biológicos (biodegradación asistida, biotransformación de metales, Fito recuperación, bioventing,

landfarming, biopilas, compostaje y lodos biológicos.), donde los ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes (Martínez, Pérez, Pinto, Gurrola & Osorio, 2011)

Dentro del tratamiento fisicoquímico la extracción con disolvente, es una técnica aplicada ex situ, que consiste en usar disolventes para retirar contaminantes orgánicos. Con esta técnica no se destruye a los contaminantes sino que los concentra de modo que puedan ser destruidos con el uso de otra técnica. Mientras que la extracción con vapor, es una técnica in situ, donde se aplica vapor de agua al suelo contaminado para arrastrar los componentes menos volátiles. Siendo necesario instalar un sistema en la superficie para el control de las emisiones tóxicas producidas (Gámez, 2016). Para el uso de estas técnicas, se requiere que los contaminantes tengan movilidad y los suelos sean permeables (Ortiz, Sans, Dorado & Villar, 2017).

Así mismo, otra técnica dentro de los tratamientos fisicoquímicos es el lavado de suelos in situ, que consiste en excavar el suelo y proceder a tamizarlo, para quitar partículas más gruesas, seguidamente se realiza el lavado con extractantes químicos los cuales solubilizan los contaminantes (van Benschoten et al. 1997). Mientras que el lavado de suelo in situ consiste en utilizar una solución de agua con un ácido o base o un agente tensioactivo aplicado al suelo contaminado, con el propósito de sacar los contaminantes a un lugar apropiado para que se puedan extraer por bombeo. Estos métodos son eficaces para suelos con contenidos bajos de limo o arcillas (Riesco & Vallès, 2012).

Otras de las técnicas de tratamiento fisicoquímico es el Flushing, se aplica in situ y consiste en la extracción del contaminantes inyectando agua o soluciones acuosas sobre los suelos contaminados, de forma que se aislen a un lugar donde se puedan eliminar,

posteriormente los fluidos sacados son capturados y bombeados a la superficie por medio de pozos de extracción, para poder ser tratados y muchas veces reciclados, esta técnica se aplica en todo tipo de contaminante, pero especialmente en inorgánicos y es eficaz en sedimentos permeables (Ortiz, 2017).

Dentro de los tratamientos biológicos, existen diferentes técnicas una de ellas es la biodegradación, donde se hace uso de microorganismos como bacterias que metabolizan los contaminantes orgánicos presentes en el suelo, convirtiéndolos en productos finales inocuos de los cuales obtienen nutrientes y energía. Esta técnica es 100% natural, menos agresiva y de más bajo costo a comparación de otras técnicas (Toledo, 2009).

Así mismo otra de las técnicas de tratamiento biológico es la biotransformación de metales, donde estos están relacionados con la biogeoquímica de microorganismos. La relación entre estos se puede examinar desde la influencia de los metales en los microorganismos y la variación de las funciones microbianas (Federal Remediation Technologies Roundtable, 1999). En este sentido, esta metodología es un instrumento eficaz para proteger a las comunidades bacterianas de los efectos tóxicos de los contaminantes, debido a que las bacterias muestran elevada resistencia a la toxicidad metálica (Gómez, 2015).

Otra de las técnicas de tratamiento biológico es la fitorremediación, donde se utiliza plantas capaces de sobrevivir y transformar contaminantes como metales pesados y sustancias orgánicas presentes el suelo. Las especies vegetales utilizadas, toleraran o acumular contenidos elevados de metales su rizosfera y en sus tejidos. El éxito de este

método se debe a la selección de las especies vegetales adecuadas para la recuperación de un suelo contaminado (Clemente et al, 2005).

Dentro de los tratamientos térmicos, una de las diferentes metodologías es la incineración ex situ donde los contaminantes son devastados por el suministro de temperaturas elevadas de alrededor de los 1000°C, con el propósito de oxidar y volatilizar los contaminantes orgánicos. Al finalizar el empleo de esta tecnología genera gases y cenizas residuales, los que deben ser depurados (Ross et al, 2002)

Otro de los métodos de tratamiento térmico es la desorción térmica, es un tratamiento ex situ donde el suelo se somete a temperaturas bajas, de forma que se consiga la desorción en vez de la destrucción de los contaminantes. Las temperaturas son especialmente elegidas para volatilizar contaminantes orgánicos mas no para oxidarlos. En el proceso de aplicación de este método el suelo retiene sus propiedades físicas y sus componentes orgánicos, por lo que puede soportar futura actividad biológica. Además de poder recuperar los suelos contaminados con diferentes compuestos orgánicos volátiles no halogenados, semivolátiles y combustibles (Chang & Yen, 2006).

## CONCLUSIONES

Las necesidades que crea el sistema productivo demanda de recursos naturales, generando impactos ambientales. Tal es el caso de la contaminación de suelos por minería que casusa el deterioro de la estructura edáfica, debido a la extracción deficiente de minerales y generación de pasivos ambientales que son depositados en la superficie terrestre.

Existen tratamientos fisicoquímicos, térmicos y biológicos para suelos contaminados, siendo importante el tipo de método de remediación que se debe aplicar, debido a que depende de factores como las características del suelo, el contaminante en el suelo, eficiencia del método a aplicar, viabilidad económica y el tiempo estimado para su desarrollo. De esta forma, el tratamiento biológico es menos agresivo para la naturaleza, ya que es 100% natural y de más bajo costo, donde un método eficiente es la fitorremediación, utilizado para remediar suelos con metales pesados y sustancias orgánicas.