



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

# “METODOLOGÍA PARA DISCRIMINAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES NATURALES DE LOS ANTROPOGÉNICOS EN ACTIVIDADES MINERAS”

### INTEGRANTES:

#### APELLIDOS Y NOMBRES

ESPINOZA ROCHA, BELLA

GONZALEZ ALVAREZ, LUIS

HUAMAN TENA, HECTOR

HUAMANI MENDIGURE, Y. MAYUME

VÁSQUEZ VERGARA, ANDREA

#### ESPECIALIDAD Y CARRERA

DERECHO

CIENCIAS, Ingeniería Química

CIENCIAS, Ingeniería Geográfica

CIENCIAS, Ingeniería Geológica

ECONOMÍA

### ASESOR:

JULCA CRUZ, RICHARD TEODORO

Febrero de 2021

CONTENIDO

Justificación de la Investigación .....	1
Antecedentes y Conceptos Básicos .....	2
Antecedentes Nacionales .....	2
Antecedentes de Latinoamérica.....	3
Antecedentes Internacionales .....	3
Conceptos Básicos .....	4
VARIABLES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	8
Preguntas, Objetivos e Hipótesis de Investigación .....	8
Fuentes de Información .....	9
Metodología de la Investigación .....	17
Enfoque de la Investigación .....	17
Alcance de la Investigación.....	17
Diseño de la Investigación.....	17
Metodología de la Investigación.....	17
Criterios para la Metodología de Discriminación .....	17
¿Qué Estudios Especializados se Proponen Realizar para Discriminar el Origen de la Contaminación?.....	18
Método Eficaz e Innovador Propuesto para la Metodología de Discriminación: Método RUSLE.....	19
Diagrama de Flujo Elaborado para Discriminar los Impactos Ambientales Naturales de los Antropogénicos en Actividades Mineras.....	22
Bibliografía.....	23

## Justificación de la Investigación

Cuando hay un problema ambiental, se hace un pedido de evaluación ambiental de causalidad de manera puntual o periódica. En el caso de la minería, se tiene un administrado fiscalizable como potencial contaminante, pero debería considerarse que puede haber una fuente contaminante natural como afloramientos rocosos o antropogénica como componentes mineros y pasivos ambientales mineros. La manera de discriminar la contaminación natural y la proveniente netamente de la actividad minera es a través de la acción de monitoreo, es así como se determinará si la actividad operativa es la responsable de la alteración de la calidad ambiental y cómo esta genera efectos en comunidades biológicas. De esta manera, el informe de la evaluación ambiental permitirá direccionar correctamente a quién se debe supervisar.

La evaluación ambiental de causalidad en las actividades mineras en el mundo es un punto de controversias debido al gran impacto que puede generar esta actividad económica extractiva al medio ambiente, claro ejemplo es el presentado en circunscripción de la mina de oro más grande del mundo ejecutada por la minera australiana Kingsgate Consolidated en Tailandia, originando que el Tribunal Tailandés ordenara que se llevara a cabo una evaluación de impacto ambiental que determinara objetivamente el origen de las afectaciones de la salud y medio ambiente denunciados por los residentes cercanos a la actividad minera.

Latinoamérica no es ajeno a esta situación, mediante Sentencia T-445 la Corte Constitucional de Colombia ordeno a las instituciones públicas competentes a determinar a través de una investigación científica y sociológica, los impactos de las actividades mineras en los ecosistemas del territorio colombiano estableciendo así conclusiones Gubernamentales en base de la Mesa de Trabajo Interinstitucional formado. En relación a lo anterior, la Universidad Militar Nueva Granada de Colombia realizó investigaciones en materia de Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgata Bajo (Tausa) estableciendo un modelo conceptual que estableciera el riesgo de contaminación fisicoquímica del suelo a través de la determinación de las fuentes y la clasificación de contaminantes con riesgo a afectar el suelo aledaño a la actividad minera.

En nuestro país, según la Defensoría del pueblo reporto 184 conflictos sociales al 2019, de las cuales 83 son referentes al sector minero por ello es importante establecer objetivamente la causalidad de un impacto ambiental para una debida determinación de responsabilidad.

Por consiguiente, la justificación del presente estudio radica en promover el cumplimiento de obligaciones ambientales de la actividad minera, para lograr esto el macroproceso de fiscalización ambiental debe ser lo más objetivo posible y consideramos que la mejora de la precisión de la evaluación ambiental de causalidad es la mejor manera de volverlo más eficiente ya que así se generará mejor información para tomar en cuenta en la fiscalización.

## Antecedentes y Conceptos Básicos

### Antecedentes Nacionales

**Soriano, Ruiz y Ruiz (2015)** establecieron criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero e implementar medidas correctivas cuando ocurra un impacto ambiental. De los cuatro métodos que describen en su investigación utilizan la metodología general para la evaluación de impacto ambiental, el cual consta de la fase de valoración cualitativa y cuantitativa; ambos buscan identificar los factores y acciones que, a partir de una matriz elaborada en base a estos datos, ayuden en la determinación de los efectos de estas acciones en los factores del medio ambiente. Como resultado de su investigación presentan dos tablas que contienen los criterios de evaluación con sus respectivas medidas de mitigación para cada categoría. Esta información aporta en la investigación como una herramienta guía en la evaluación de impacto ambiental en zonas de actividad minera. Los criterios de evaluación y las medidas de mitigación sirven de base a las empresas mineras para que su proyecto de inversión sea aprobado por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las inversiones sostenibles (SENACE)

**Miyasiro y Ortiz (2016)** en su tesis titulada “Estimación mediante la teledetección de la variación de la cobertura vegetal en las lomas del distrito de Villa María del Triunfo por la expansión urbana y minera (1986-2014)” tuvo como objetivo estimar la cobertura vegetal de las lomas de Villa María del Triunfo en temporadas normales y extraordinarias como el Fenómeno El Niño 97-98, para lo cual se realizó un análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat y fotografías aéreas desde el año 1996 a 2014 empleado técnicas de Teledetección (NDVI) y Sistemas de Información Geográfica complementado con trabajos en campo. Obteniendo que en épocas normales fue 2221.30ha y en épocas extraordinarias fue 4099.60ha, teniendo en cuenta que su máxima extensión es en los meses de agosto y septiembre, de las superficies mencionadas, más del 25% se convirtieron a suelo urbano y en suelo minero en un 3%, para lo cual se propuso la delimitación de 2084.1ha en promedio de las lomas con la finalidad de separarlas de la influencia de la expansión urbana. Recogimos como aporte las técnicas de teledetección para la estimación de la variación de la cobertura vegetal, además de capacidad fotosintética en relación al índice de vegetación diferencial normalizado.

**Blanco y Paricahua (2020)** en su tesis titulada “Identificación y Valoración de Impactos Ambientales Generados por las Actividades de la Minería Informal, en el Cerro Luicho del Distrito de Colta, Provincia de Paucar del Sara Sara, Ayacucho” tuvo como objetivo determinar y valorar los impactos ambientales significativos ocasionados por las actividades de los mineros artesanales del Cerro Luicho, para lo cual se analizó el proceso correspondiente a la actividad económica, el cual inicia con las obras provisionales y perforación y culmina con el transporte y pallaqueo, obteniendo aproximadamente 42 impactos ambientales, de los cuales 10 son los más importantes; como la Alteración de la calidad del suelo por vertimientos de efluentes domésticos, el ahuyentamiento de fauna silvestre por propagación de ruido, la alteración de la calidad del aire por generación de material particulado, entre otros, identificados y valorados (por medio de matrices) con la finalidad de proponer programas de mitigación.

Rescatamos como aporte los procesos de una minera artesanal y los impactos significativos en dicha actividad minera.

### Antecedentes de Latinoamérica

**Guerrero y Pineda (2016)** en su artículo titulado “Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá Bajo (Tausa), Modelo Conceptual” tuvo como objetivo identificar y evaluar la condición de la contaminación en territorios donde se realizan actividades de extracción y transformación de arcilla y carbón, para lo cual se procedió a ejecutar un enfoque metodológico mixto (técnicas cualitativas y cuantitativas) para generar el diseño del modelo conceptual, considerando observaciones in situ y medición de características físico químicas para determinar las fuentes y tipos de contaminantes con riesgo de afectar el suelo aledaño a las faenas mineras y con impactos toxicológicos para las personas, la fauna y la flora. Obteniendo que es posible desarrollar un diseño de modelos conceptuales de riesgo de contaminación de suelo, análisis que debe basarse en estudios cuantitativos de acumulación y vías de movilización de sustancias que podrían resultar en mayor degradación del suelo. Teniendo como aporte para nuestra investigación la identificación de fuentes de contaminación en el suelo mediante características físico-químicas.

**González y Otárola (2017)** en su tesis titulada “Uso de Sensores Remotos y tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) para apoyar la identificación de la salinización del suelo en San Miguel de Sema , Boyacá, Colombia” tuvo como objetivo apoyar la identificación de la salinización del suelo mediante el uso de los sensores remotos y la tecnología de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en una zona piloto del municipio de San Miguel de Sema, Boyac, para lo cual se aplicó el índice de vegetación NDVI en imágenes Sentinel 2 de enero y octubre del 2016 y comparó las zonas de mayor cambio de uso de suelo, asimismo se tomaron fotografía aéreas de una UAV compuesta por la aeronave Phantom 3 versión Professional para observar su relación posible con las propiedades químicas del suelo bases para la clasificación de la salinización, al reclasificar la data de NDVI con el ortomosaico generado por el drone. Obteniendo, un mapa que demuestra la probabilidad dada a presentarse suelos con salinización, donde se evidenció que 4.13% del área tiene alta probabilidad, 25.20% media probabilidad, 43.02% baja probabilidad y 27.65% muy baja probabilidad, concluyendo que no existe relación directa entre la conductividad eléctrica y el pH con respecto a los parámetros químicos medidos referentes de salinización. El uso de los sensores multispectrales en plataforma UAV nos proporciona mayor detalle, precisión y exactitud lo cual nuestros resultados serán más fidedignos con la realidad.

### Antecedentes Internacionales

**Pérez y García (2013)** en su artículo titulado “Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos” tuvo como objetivo mostrar el empleo de la teledetección espacial en el seguimiento de principales problemas de degradación de suelos, para lo cual se procesó imágenes satelitales de media resolución (Landsat y Spot) en el software ERDAS de manera multitemporal usando métodos de análisis espectral e índices espectrales para la discriminación de los suelos afectados por salinización o hidromorfismo, obteniendo que para estudios

regionales y locales son eficaces imágenes con resolución espacial y espectral media, acompañado de análisis en campo y laboratorio. Como aporte a nuestra investigación es con respecto a la aplicación de la teledetección para el análisis en degradación de suelos.

**Gomez (2019)** en su tesis titulada “Aplicaciones de la observación satelital terrestre en la Evaluación Ambiental de la industria minera” tuvo como objetivo analizar los condicionantes para el cumplimiento de la evaluación de impacto ambiental de actividades industriales. A partir de ahí, estudiar la posibilidad de implantar nuevas técnicas que refuercen los planes de monitorización convencionales, en el marco de un desarrollo sostenible, ayudando así a conseguir los objetivos marcados por la normativa vigente en materia de gestión ambiental. Para lo cual se ha optado por estudiar la posibilidad de incorporar técnicas emergentes de Teledetección para el control de la calidad de las aguas, como método complementario a los métodos convencionales, proponiendo un plan de monitorización alternativo a los actualmente implementados, llegando a la conclusión que los programas convencionales de monitorización de la calidad de las aguas están basados en análisis químicos de muestras recogidas regularmente en puntos concretos del área de estudio, y en análisis de parámetros físicos medidos a lo largo del cauce del río. En ese sentido, utilizar imágenes hiperespectrales para controlar el grado de contaminación de las aguas por drenaje ácido de mina supone una base sólida para el desarrollo de nuevos sistemas multitemporales de monitorización de la calidad de las aguas.

**Respecto a los antecedentes latinoamericanos e internacionales, mencionamos dos en cada uno porque que la información relacionada a nuestro tema es limitada, no se tienen muchos estudios.**

### Conceptos Básicos

#### *Diagrama de Ficklin*

Diagrama en donde se clasifica mediante zonas, las diferentes características de los metales mediante la concentración de metales, usualmente: zinc (Zn), cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd), cobalto (Co) y níquel (Ni); y el pH.

El diagrama de Ficklin muestra la suma de los metales disueltos como una función del pH. (Kelepertzis, 2017)

#### *Drenaje ácido de roca*

Fenómeno de generación de aguas ácidas, producido por procesos de oxidación de rocas (principalmente oxidación de sulfuros) en cualquier ambiente. Existe en el medioambiente sin actividad minera. (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2002)

#### *Drenaje ácido de mina*

Fenómeno de generación de aguas ácidas, asociado a la explotación de yacimientos minerales. (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2002)

### ***Geofísica***

La geofísica es el estudio de la tierra sólida y fundida utilizando principios físicos que permiten estudios a gran escala y de la tierra muy profunda que de otro modo sería inaccesible e imposible de estudiar. (S.A. Elías, 2013)

### ***Hidroquímica***

Es el estudio químico del recurso hídrico, con el fin de obtener una característica química de esta, como por ejemplo la concentración de metales totales, o la clasificación de un agua, mediante diferentes métodos.

La caracterización hidroquímica de las aguas y su distribución espacial y temporal aportan información sobre su origen, los procesos físico-químicos que las afectan y la calidad (degradación y presencia de contaminantes). Con esa información es posible establecer la evolución del acuífero en el tiempo y el espacio, evaluar su vulnerabilidad, detectar afectaciones y establecer medidas correctoras, o sea, contribuye a que se pueda hacer una mejor gestión de los recursos hídricos. (Lillo, 2007)

### ***Imágenes hiperespectrales***

Las imágenes hiperespectrales se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos o miles. La teoría en lo que se apoya la teledetección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas. (Sánchez, 2012)

### ***Imágenes multiespectrales***

Las imágenes multiespectrales se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. (Sánchez, 2012)

### ***Imagen satelital***

Una imagen satelital es el resultado que se obtiene del capturar la radiación emitida o reflejada por la superficie de la tierra mediante un sensor colocado a bordo de un satélite artificial. Existen diferentes tipos de imágenes satelitales las cuales poseen varias características como colores, resolución, elevación, etc. En si la calidad de la fotografía tomada depende del instrumento utilizado y de la altitud. La desventaja de las imágenes satelitales es que cuando la imagen a cubrir es extensa el procesamiento es bastante largo, además la imagen depende notablemente de la calidad de sensor que se esté utilizando, la imagen siempre se ve influenciada por las condiciones meteorológicas al momento de realizar la toma. (Sánchez, 2012)

### ***Impactos ambientales***

Alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, es decir, es específico de cada caso y requiere un medio de transporte (agua superficial o subterránea, aire, organismos, camiones etc.) y de un receptor (agua potable, población, cuerpo de agua, fauna y flora). (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2002)

### ***NDVI***

El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicado a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de  $-1$  a  $+1$ . (Meneses, 2011)

### ***PH en pasta y conductividad***

El objetivo de este análisis es determinar el pH y la conductividad eléctrica (CE) de una muestra, generada a partir de la disolución de fases minerales, lo que indica la acidez y salinidad inherente del material al ser depositado en la fuente potencialmente generadora de DM. (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2015)

### ***Relave minero***

Son el residuo molido final de la extracción de minerales (D.W. Blowes et al., 2003)

### ***Resistividad eléctrica***

Es la resistencia al paso de la corriente en cierto material, mientras la resistividad eléctrica sea más grande, la corriente eléctrica tendrá mayor dificultad para pasar por el medio. Materiales que poseen alta resistividad eléctrica son comúnmente llamados aislantes, y los que poseen muy baja resistividad eléctrica son llamados conductores.

La resistividad eléctrica es una propiedad de los materiales conductores. Su valor no depende de la forma ni de la masa del cuerpo. Sino más bien, su dependencia es únicamente de las propiedades microscópicas de la sustancia de la que está hecha el cuerpo. (Yanes, Carrasco, & Ocampo, 2015)

### ***RUSLE***

Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (*Revised Universal Soil Loss Equation*), es una versión revisada del modelo original USLE empleado usualmente para estimar la variación estacional de la cobertura del suelo y la erosividad de la lluvia. (Renard, Fomento, Weesies, Mccool, & Yoder, 1997)

Usa un método de análisis de factores:

$$A = R * K * LS * C * P$$

- A: Pérdida de suelo anual en ton/ha/año
- R: Factor de erosividad de la lluvia
- K: Erosionabilidad del suelo
- LS: Factor de longitud de cuesta y pendiente
- C: Factor de vegetación
- P: Prácticas de apoyo o manejo de suelo

### ***Teledetección***

Es la recopilación de información de la superficie terrestre sin entrar en contacto con ella, actualmente se realiza mediante sensores a bordo de satélites aerotransportados, dichos sensores miden la cantidad de radiación electromagnética que refleja la superficie de la tierra y los objetos que hay en ella. (Sánchez, 2012)

### ***Test ABA modificado***

Mediante la aplicación del Test ABA modificado (Modified Acid Base Accounting) es posible determinar el balance entre la producción y el consumo de ácido de un material. (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2015)

### ***TEST SPLP***

Mediante los test SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) es posible determinar la movilidad (lixiviación) de analitos inorgánicos presentes en una muestra, dado que simulan un proceso de lixiviación a nivel de laboratorio. (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2015)

### ***UAV, DRON, VANT***

El UAV (Unmanned Aerial Vehicle), dron (zángano) o VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) de uso civil es una aeronave a propulsión, no tripulada y reutilizable que opera mediante control a distancia y autónomamente. (Addati & Pérez, 2014)

### Variables del Proyecto de Investigación

**Tabla 1**

*Variables dependientes e independientes*

Variable dependiente	Variable independiente
Discriminación de impactos ambientales naturales o antropogénicos	Erosión de suelos (Método RUSLE)
	Prospección geofísica
	Geoquímica
	Hidroquímica

### Preguntas, Objetivos e Hipótesis de Investigación

**Tabla 2**

*Pregunta, objetivo e hipótesis general del proyecto de investigación*

Pregunta General	Objetivo General	Hipótesis General
¿Cuáles son los criterios para el diseño de una metodología que permita discriminar los impactos naturales de los antropogénicos en las actividades mineras?	Definir los criterios para el diseño de una metodología que permita discriminar los impactos naturales de los antropogénicos en las actividades mineras	La metodología diseñada a partir de estudios especializados como la geoquímica, prospección geofísica, hidroquímica y análisis de erosión de suelos, en conjunto, permite discriminar los impactos naturales de los antropogénicos en las actividades mineras

**Tabla 3**

*Preguntas y objetivos específicos del proyecto de investigación*

Preguntas Específicas	Objetivos Específicos
¿Cuál es la norma internacional existente respecto a la discriminación de impactos	Determinar la normativa internacional existente respecto a la discriminación de

ambientales naturales de los antropogénicos en las actividades mineras?	los impactos ambientales naturales de los antropogénicos en las actividades mineras.
¿Cuáles son los principales métodos de discriminación de origen de impacto ambiental que existen en el mundo?	Determinar los principales métodos utilizados en el mundo para discriminar impactos ambientales causados por acción antropogénica o natural.
¿Cuáles son los métodos más eficaces que existen en el mundo y pueden coadyuvar a la eficaz discriminación de un impacto ambiental por causa antropogénica de una natural en el Perú?	Identificar los métodos más eficaces que existen en el mundo y pueden coadyuvar a la eficaz discriminación de un impacto ambiental por causa antropogénica de una natural en el Perú.
¿Cómo determinar un flujo metodológico para la debida determinación de una responsabilidad?	Establecer un flujo metodológico que permita la determinación de la responsabilidad ante un impacto ambiental.
¿Cuáles son los criterios para la discriminación del origen de impacto ambiental que generen información de mayor precisión a menor costo?	Identificar los criterios para la discriminación del origen de impacto ambiental que generen información de mayor precisión a menor costo.

### Fuentes de Información

Las fuentes de información que emplearemos son las siguientes:

**Tabla 4**

*Base de datos públicas útiles para el proyecto de investigación*

Fuente de información	Qué se espera obtener
Tribunal de Fiscalización Ambiental <a href="https://www.oefa.gob.pe/tribunal-de-fiscalizacion-ambiental/resoluciones">https://www.oefa.gob.pe/tribunal-de-fiscalizacion-ambiental/resoluciones</a>	Resoluciones que confirmen las sanciones impuestas a actividades mineras lo cual coadyuvara a establecer los criterios para la determinación de la responsabilidad.
Sistema Nacional de Información Ambiental	Información estadística, documental, normativa y geoespacial relacionada

<a href="https://sinia.minam.gob.pe/">https://sinia.minam.gob.pe/</a>	a temas ambientales relacionados al sector minería.
OEFA- Registro de Actos Administrativos y Registro de Infractores Ambientales  <a href="https://www.oefa.gob.pe/raa-rina/">https://www.oefa.gob.pe/raa-rina/</a>	Establecer si en el área de estudio se encuentran inmersos administrados que están en el registro de infractores ambientales o el registros de Actos Administrativos.

**Tabla 5**

*Fuentes bibliográficas útiles para el proyecto de investigación*

<b>Fuente de información</b>	<b>Qué se espera obtener</b>
Guía metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2015)	En esta guía, en el capítulo de Herramientas y criterios para evaluar la estabilidad química y su potencial impacto, se hace referencia a cómo caracterizar el drenaje minero y las fuentes potencialmente generadoras de drenaje minero con la finalidad de predecir su ocurrencia mediante acciones como el reconocimiento en terreno, técnicas instrumentales, técnicas de predicción de laboratorio y de campo; para de esa manera evaluar el riesgo ambiental. La información que se ha obtenido y que nos va a ser útil en la aplicación para este proyecto de investigación es la que se refiere a las técnicas de predicción de drenaje minero en campo: técnica estática cualitativa (pH en pasta y Conductividad, Test ABA modificado, Test SPLP).
Guía Metodológica sobre Drenaje Acido en la Industria Minera (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2002).	Trata principalmente sobre el drenaje ácido, los factores relacionados con la dinámica del drenaje acido de roca, predicción del drenaje ácido, entre otros. La información útil que podemos extraer de este documento es la que explica sobre la actividad microbiológica presente en los rípios de lixiviación. Menciona que las bacterias presentes en desechos de minas abandonadas aceleran la velocidad de generación de ácido y de lixiviacion de metales pesados, comúnmente conocido como “enfermedad bacteriana” de los residuos mineros. Un método de solución para evitar esta generación de ácido es mediante la inhibición de bacterias, menciona también que hasta la fecha esta tecnología, ha sido utilizada principalmente en la industria de carbón de Estados

---

Unidos, en la etapa de rehabilitación, que permite generar una cubierta de vegetación activa antes del comienzo de la generación de drenaje ácido, ya que se ha demostrado que la aplicación de bactericidas previene la formación de ácido y la lixiviación de metales. Disminuyen drásticamente la presencia de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, incrementando paralelamente el desarrollo de bacterias heterotróficas que son beneficiosas para el suelo y ayudan a la reforestación de los suelos.

Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods: a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant (Epov, Yurkevich, Bortnikova, Karin, & Saeva, 2017)

Realizó un estudio integrado acerca de los relaves mineros que contienen sulfuro en el botadero Dyukov Log utilizando métodos geofísicos y geoquímicos. Se midió la frecuencia electromagnética y la resistencia eléctrica en el relave mediante un instrumento de levantamiento eléctrico multielectrodos (SKALA-48). Se utilizaron tomografías para establecer la zonificación geoelectrica de los relaves y establecer algunas relaciones entre los parámetros eléctricos medidos y la composición química de los relaves y el agua de poro. La orientación dada en el proyecto permite a futuro obtener la cantidad de relaves en un botadero utilizando las técnicas ya mencionadas. Se obtuvieron los perfiles de la resistencia eléctrica en el botadero, y se pudieron identificar los relaves mineros debido a su baja resistencia eléctrica. Asimismo, con un análisis geoquímico de los extractos acuosos de la zona (tanto de un extracto ácido pH 2-4.3 como de un extracto casi neutro pH 5.9-7.2) se obtuvieron las diferentes concentraciones de minerales presentes en el líquido. Se obtuvieron una relación inversa y correlaciones entre algunos parámetros geofísicos y geoquímicos: Existe una relación inversa entre la resistencia eléctrica de las pastas (roca con agua formando una mezcla heterogénea pastosa, agua: roca 1:1) y la concentración total de metales en el material de desecho; Existe una correlación inversa entre la concentración de los sulfatos y la resistencia eléctrica de las pastas; Existe una correlación inversa entre la concentración de metales totales (Fe, Mn, Al., Zn, Cu, Cd, y Pb) y la resistencia eléctrica de las pastas. Los resultados del análisis geoquímico nos indican que las zonas de baja resistividad en secciones geoelectricas, están asociadas a horizontes acuíferos con fluidos de poros muy salinos. Esta investigación nos proporciona una manera de determinar relaves mineros y su composición a partir de técnicas geofísicas y busca su relación con un análisis geoquímico, de esta manera será más fácil determinar drenaje ácido de roca o mina y asimismo hallar el curso de esta agua con ayuda del diagrama de Ficklin.

---

<p>Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM Landsat 5 (Fonseca, 2014)</p>	<p>Evaluó la variación estacional de la cobertura del suelo y la erosividad de las lluvias, y sus influencias en la ecuación de pérdida de suelo universal revisada (Rusle), para lo cual se aplicó el método mencionado empleando los factores existentes en la fórmula matemática: el índice de erosividad por precipitaciones se calculó empleando data de precipitación media mensual desde 1986 al 2009, el parámetro K se determina en base al porcentaje de arena, limo y arcilla, el parámetro LS fue hallado a partir la longitud de la ladera y pendiente fueron calculados a partir de un DEM de 10m de resolución, El uso del factor C obtenido a partir de datos de teledetección DE Imágenes TM Landsat 5 de 1986 a 2009. Resultando que las pérdidas de suelo estimadas se agruparon en clases y variaron de 0,13 Mg ha-1 el 24 de mayo de 2009 (estación seca) a 62,0 Mg ha-1 el 11 de marzo de 2007 (temporada de lluvias). En conclusión, el trabajo de investigación permite estimar la pérdida de suelo y evidencia la factibilidad de emplear sensores remotos para estimar la cobertura del suelo de forma multitemporal y espacial, llegando a aplicarse en diferentes medios como el Perú.</p>
<p>Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada: 2000 – 2014 (Campos, Guerrero, &amp; Gines, 2014)</p>	<p>Se desea obtener los procedimientos y consideraciones para el análisis de la cobertura vegetal en una serie temporal utilizando índices de vegetación de diferencia normalizado (NDVI).</p>

**Tabla 6**

*Normas legales peruanas*

Componentes	Fuente de información	Qué se espera obtener
<p>Concepciones generales</p>	<p>Constitución Política del Perú, art 2 inciso 22</p>	<p>Del derecho y deber fundamental: Derecho al ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.</p>

[http://spij.minjus.gob.pe/content/publicaciones\\_oficiales/img/Const-peru-oficial.pdf](http://spij.minjus.gob.pe/content/publicaciones_oficiales/img/Const-peru-oficial.pdf)

Ley de Creación, organización y funciones del Ministerio del Ambiente-MINAM-LEY 28611

Competencia y funciones de fiscalización ambiental.

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-creacion-organizacion-funciones-ministerio-ambiente>

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente

-Política Nacional del Ambiente.

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>

-Establecer los principios, objetivos, lineamientos y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado.

-Ámbito de aplicación.

-Competencia: actores principales.

Ley General del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Ley N° 29325) y su modificatoria Ley N° 30011, y Decreto Legislativo N° 1389.

-Entidades Competentes  
- Funciones del OEFA  
- Competencias  
- Facultades

[http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/09/MJ006\\_L29325.pdf](http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/09/MJ006_L29325.pdf)

Decreto Supremo N° 040-2014-EM

Resolución Ministerial N° 120-2014-MEM-DM

Establecer los componentes mineros: principales y secundarios

Componente ambiental:  
Agua

<https://www.minem.gob.pe/legislacionM.php?idSector=4&idLegislacion=7619>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen

Parámetros para evaluar el estado de la calidad ambiental del agua superficial y agua subterránea

---

Disposiciones  
Complementarias

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Decreto Supremo N° 010-  
2010-MINAM Aprueban  
Límites Máximos Permisibles  
para la descarga de efluentes  
líquidos de actividades Minero  
Metalúrgica

Parámetros que al ser excedidos, pueden implicar riesgos de daño a la salud y al ambiente, en referencia a efluentes mineros.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>

Decreto Supremo N° 003-  
2010-MINAM Aprueba  
Límites Máximos Permisibles  
para los efluentes de Plantas de  
Tratamiento de Aguas  
Residuales Domésticas o  
Municipales

Parámetros que al ser excedidos, pueden implicar riesgos de daño a la salud y al ambiente, en referencia específica de agua residual doméstica.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>

Resolución Jefatural N° 056-2018-  
ANA

Aprueban la Clasificación de  
los Cuerpos de Agua  
Continental Superficiales

Herramienta para la debida evaluación del estado de la calidad ambiental de los cuerpos de agua superficiales continentales considerando los usos presentes y potenciales

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-clasificacion-cuerpos-agua-continental-superficiales>

Resolución Jefatural N° 010-  
2016-ANA

Protocolo nacional para el  
monitoreo de la calidad de los  
recursos hídricos superficiales

Para la estandarización de criterios y procedimientos técnico en el monitoreo de hídricos teniendo en cuenta el tipo de muestra.

<https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>

Resolución Directoral N° 004-  
94-EM/DGAA

Criterios para Monitoreo de Agua y Aire para la Actividad Minero Metalúrgica.

---

Componente ambiental: Suelo	Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	En la que se priorizo los parámetros para componentes inorgánicos que son los más relacionados al sector minero.
	<a href="https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-012-2017-minam/">https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-012-2017-minam/</a>	
	Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados D.S. N° 012-2017-MINAM	Establecer criterios para evaluar el estado de la calidad ambiental y establecer la gestión de sitios contaminados por actividades antrópicas
	<a href="https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-no-125-2014-minam/">https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-no-125-2014-minam/</a>	
	Protocolo de muestreo por emergencia ambiental RM N° 125-2014-MINAM	Criterios para el monitoreo de suelo
	<a href="https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-no-125-2014-minam/">https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-no-125-2014-minam/</a>	
	Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM .- Aprueban Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos	Establecer lineamientos para el monitoreo de suelos y su futura descontaminación.
	<a href="https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-085-2014-minam/">https://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-085-2014-minam/</a>	

**Tabla 7***Normas legales extranjeras*

Componentes	Fuente de información	Qué se espera obtener
Sedimento	<i>Le Conseil canadien des ministres de l'environnement – Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines – Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Fresh water</i>	Para la comparación de los resultados de las muestras de sedimento con los estándares y parámetros establecidos en la guía canadiense (CEQG).
	Agencia de Protección Ambiental EPA	
	Manual técnico Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimento para	Para determinar criterios para el muestreo, almacenamiento

	análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos ( <i>Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual</i> , 2001	y análisis del componente sedimento
	Procedimiento de Operación Estándar – Standard Operating Procedure (SOP). #2016, Muestreo de Sedimento, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos	Criterios para la toma de muestra de un sedimento.

**Tabla 8**

*Perfil de actores clave para el proyecto de investigación*

<b>Actores</b>	<b>Materia</b>	<b>Cargo</b>	<b>Aporte</b>
<b>Especialistas</b>		Jefe de la Dirección de Supervisión De Energías y Minas-OEFA  SUPERVISORES	Criterios utilizados por la OEFA para discriminar la causa de un impacto ambiental de un componente ambiental supervisado.
		Jefe de la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos (DFAI)-OEFA	Criterios para determinar una posible responsabilidad de una empresa minera
	Minería	Subdirección de Fiscalización en Energías Y Minas (SFEM)-OEFA	Criterios para establecer responsabilidad a una empresa minera.
		Dirección General de Investigación e Información Ambiental	Información sobre metodología de discriminación de impactos ambientales naturales de los antropogénicos causados en zonas mineras.
<b>Docentes Universitarios</b>	En relación al sector minero	Universidades Nacionales y Privadas	Doctrina, marco normativo, marco teórico y jurisprudencia aplicada.
<b>Especialistas</b>	En relación a imágenes tomados por el	El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través	Marco normativo y alcances para la debida toma de imágenes con el uso de

---

uso de aeronaves pilotadas a distancia (RPA)	de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)	aeronaves pilotadas a distancia (RPA)
Imágenes Satélites	Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA)	Marco normativo y alcances para la debida utilización de imágenes satelitales.

---

## Metodología de la Investigación

### Enfoque de la Investigación

La presente investigación se enfoca en el paradigma cuantitativo que se caracteriza por ser secuencial y probatorio. Parte de una idea de la que se derivan objetivos y preguntas de investigación, de estas últimas se establecen hipótesis y se diseña un plan para probarlas, finalmente se extraen una serie de conclusiones (Sampieri, 2014).

### Alcance de la Investigación

El alcance de esta presentación es explicativo porque pretende establecer las causas de los sucesos que se estudian (Sampieri, 2014). Por lo tanto, se identificarán las fuentes contaminantes aproximadas a una zona minera y se relacionarán con su origen natural o antropogénico a través de los criterios de hidroquímica, erosión de suelos, prospección geofísica y geoquímica.

### Diseño de la Investigación

El diseño es de tipo no experimental puesto que se observa el fenómeno tal como se da en su contexto natural para analizarlo, no se pueden manipular variables (Sampieri, 2014). En este caso, la data a emplear será la recolectada en la fase de evaluación ambiental a unidades mineras fiscalizables.

### Metodología de la Investigación

El método utilizado será inductivo ya que se pretende crear una metodología a partir de la observación de los hechos (Behar, 2018). De tal manera que los datos recolectados en el área aproximada a la actividad minera serán examinados y a partir de ello se estudiará cada criterio propuesto para la metodología de discriminación de impactos naturales de los antropogénicos.

## Criterios para la Metodología de Discriminación

Los criterios para el diseño de una metodología que permita discriminar los impactos naturales de los antropogénicos en las actividades mineras se desarrollan a partir de la identificación de un indicio o evidencia de impacto ambiental negativo. Para ello se realiza una

evaluación de la calidad ambiental (agua, sedimento, suelos, comunidades hidrobiológicas, etc.) con la finalidad de establecer la relación causa-efecto entre la alteración de la calidad ambiental y las actividades sujetas a fiscalización ambiental; se realizan una serie estudios especializados que en conjunto contribuyen a la identificación de la fuente contaminante, la cual puede ser de origen antrópico o natural. Cabe precisar, que la causalidad se puede determinar con un estudio, sin embargo, la suma de los estudios especializados permite la objetividad, robustez y contundencia de la relación causa – efecto.

### **¿Qué Estudios Especializados se Proponen Realizar para Discriminar el Origen de la Contaminación?**

Los estudios de especializados que se proponen son: estudios geológicos, geoquímicos, hidrogeológicos, comunidades hidrobiológicas, hidroquímicos, geofísicos (tomografía eléctrica), análisis taxonómicos, toxicológicos, análisis de presencia de metales en flora y fauna, balance hídrico, entre otros, los cuales pueden considerar el ensayo en laboratorio de las muestras tomadas en campo.

Para discriminar si el origen de la contaminación es antrópico o natural, los estudios se realizan en cuerpos receptores no alterados, considerados como puntos de referencia o control (blancos ubicados aguas arriba de la fuente-en agua, nivel de fondo-en suelo) y en cuerpos receptores presuntamente alterados (agua debajo de la fuente-agua que exceden los ECA agua, áreas de potencial interés-Suelos que excede los ECA suelo).

Por ejemplo, para la evaluación de la calidad de agua, la metodología empleada para el muestreo de agua superficial y afloramientos de agua sigue las metodologías propuestas en el «Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales» (ANA, 2016); mientras que, para el agua subterránea se empleó el protocolo del National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data de la U.S. Geological Survey TWRI book 9 (USGS, 2015). Los resultados de los parámetros obtenidos en campo y los determinados por el laboratorio fueron comparados con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (en adelante ECA para agua).

#### ***Geoquímica***

Se realiza en componentes mineros o residuos de pasivos ambientales mineros (afluentes-líquidos o material-sólido), así también en roca (afloramientos rocosos). Los parámetros usualmente seleccionados son: metales totales incluido el mercurio, extracción secuencial de metales pesados (metodología de Dold), test de lixiviación (SLPL) y el test balance acido-base (ABA).

#### ***Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)***

Es una modificación moderna del método de sondeo eléctrico vertical (Balkov et al., 2012; Bobachev y Gorbunov, 2005; Loke, 2009) se optó por utilizar la ERT debido a su amplia gama de aplicaciones, sobre todo con fines medioambientales. Este es uno de los métodos de resistividad basados en la ley de Ohm. La corriente eléctrica se suministra al suelo a través de electrodos de alimentación, con una separación que viene condicionada por el grado de resolución, y la diferencia de potencial se mide en los electrodos de recepción. La configuración de electrodos empleada es el «polo-dipolo» (EPA Use of Airborne, Surface, and Borehole

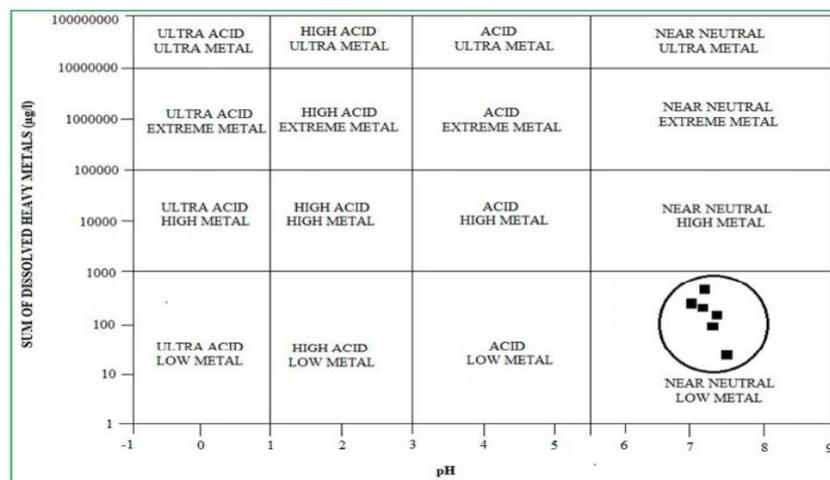
Geophysical Techniques at Contaminated Sites EPA/625/R-92/00) debido a que tiene buena cobertura horizontal, la fortaleza que ofrece su señal es significativamente más alta comparada con otras configuraciones y esta a su vez, no es sensible al ruido telúrico, esta configuración requiere un electrodo remoto (infinito) ubicado lo suficientemente lejos de la línea del sondeo para facilitar una profundidad de investigación mayor (López, 1999).

### *Caracterización hidroquímica (diagrama de Ficklin)*

Son índices hidroquímicos utilizados para clasificación del agua superficial, los afloramientos de agua, manantiales y el agua subterránea, en base a la suma de los metales disueltos: zinc, cobre, cadmio, plomo, cobalto y níquel (mg/L) y los valores de potencial de hidrógeno, para determinar la tipología de estas aguas. Es importante señalar que el diagrama de Ficklin, no considera a las concentraciones de manganeso, aluminio y hierro, porque éstos tienen un comportamiento geoquímico muy diferente (Favas et al., 2016). Esta clasificación se emplea para determinar la tipología de las aguas (filtraciones y flujos de agua provenientes de los componentes mineros), y evaluar sus efectos sobre los cuerpos de agua superficial (sistemas fluviales receptores) y el agua subterránea (piezómetros).

### **Figura 1**

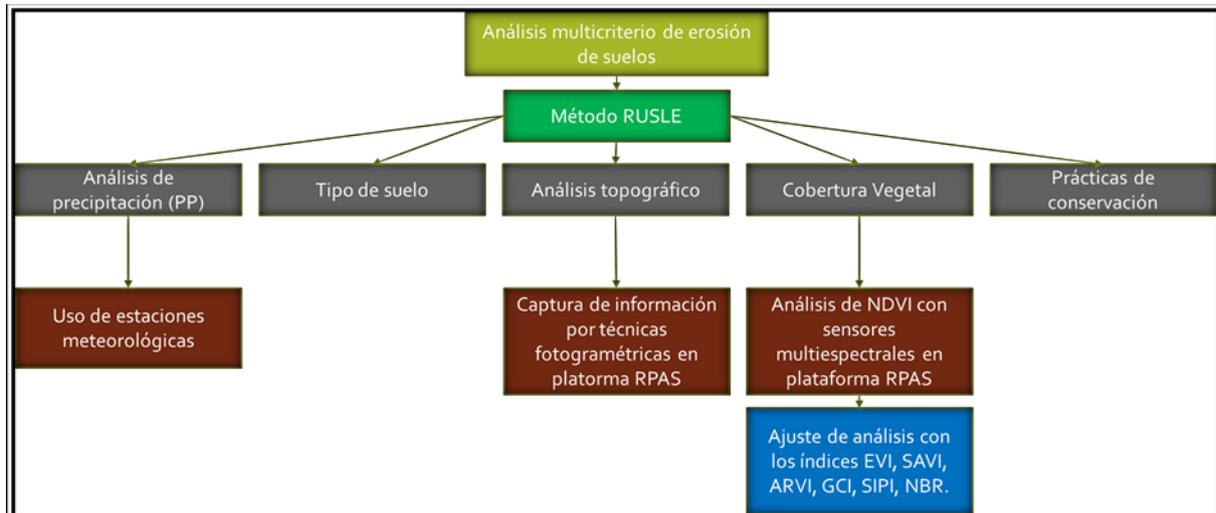
#### *Diagrama de Ficklin*



*Nota.* El gráfico representa la suma de los metales pesados disueltos como una función del pH. Tomado de (Manoj, 2012) modificado de Ardejani et al., 2011.

### **Método Eficaz e Innovador Propuesto para la Metodología de Discriminación: Método RUSLE**

Este método es una versión revisada del modelo original USLE (Renard, Fomento, Weesies, Mccool, & Yoder, 1997) lo cual nos permite estimar la erosión media anual en un área de estudio, que se basa en un análisis multicriterio de las siguientes variables: Análisis de precipitación (PP), tipo de suelo, análisis topográfico, cobertura vegetal y prácticas de conservación. Adicionalmente proponemos novedosas técnicas de levantamiento de información en plataforma UAVs con sensores multispectrales acoplados en ellos.

**Figura 2***Diagrama de flujo del método RUSLE****Análisis de Precipitación (pp)***

Factor correspondiente con la erosividad de la lluvia en relación a la intensidad y energía de la misma sobre la superficie del suelo en un tiempo determinado. Dato obtenido a partir del análisis estadístico de mediciones de estaciones meteorológicas.

***Tipo de Suelo***

Factor correspondiente a la erosionabilidad del suelo. Cantidad promedio de suelo perdido según las condiciones que presente el mismo, siendo útil las calicatas o toma de testigos con barrenos para realizar el análisis de suelo correspondiente, determinando el porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica.

***Análisis Topográfico***

Factor relacionado con el cálculo de la longitud de la cuesta y la pendiente de la misma. Captura de información por técnicas fotogramétricas en plataforma UAV.

***Cobertura Vegetal***

Análisis realizado a la vegetación debido a que influye en la reducción del impacto de la acción del entorno (viento, precipitación). Estimado a partir de los productos obtenidos de sensores remotos como las imágenes satelitales o imágenes aéreas.

**Figura 3**

*Sensor multiespectral ALTUM*



*Tomado de Micasense.*

***Índice de Vegetación***

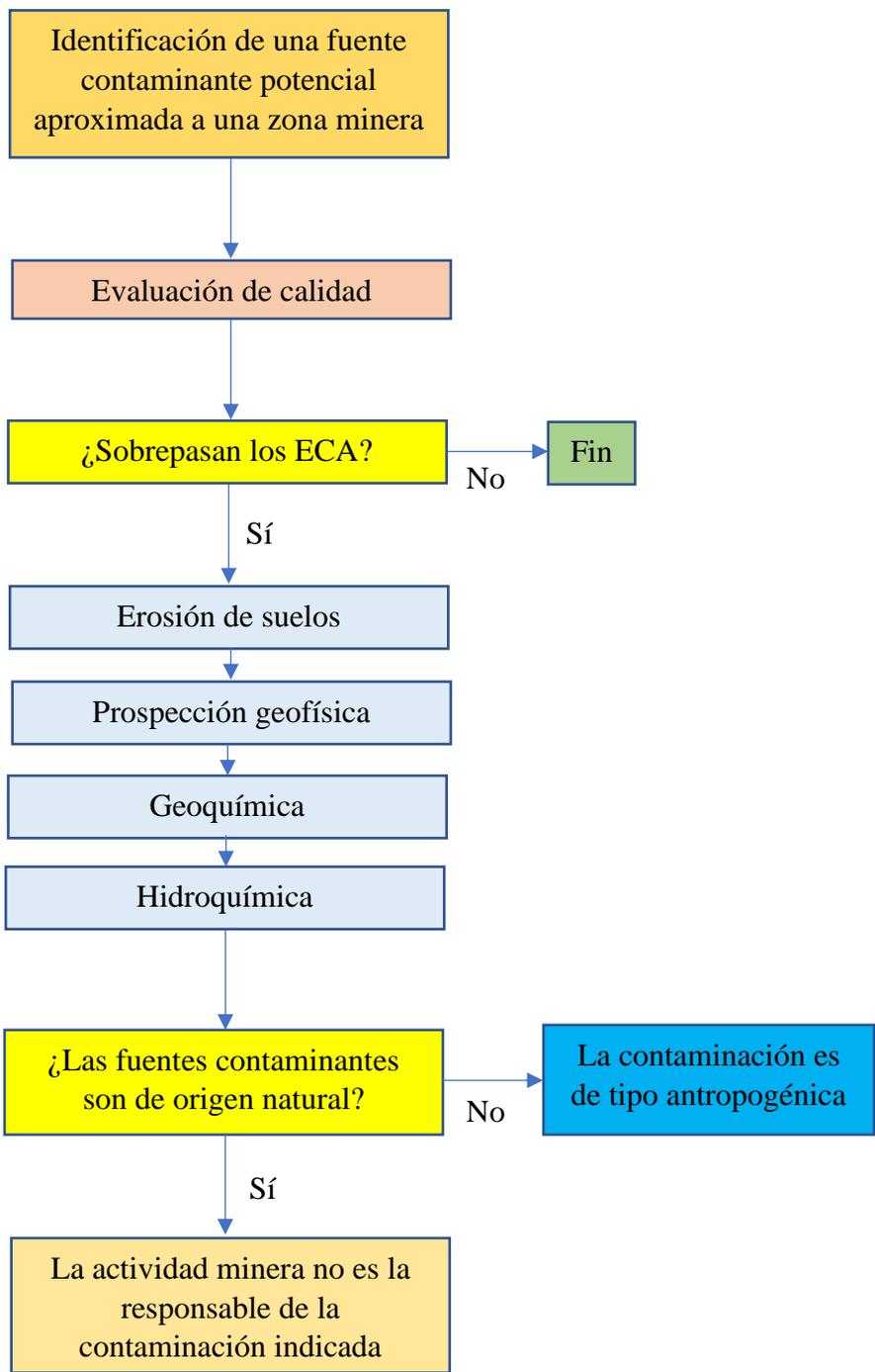
La cobertura vegetal indirectamente se puede analizar a partir de índices de vegetación procesada a partir de imágenes satelitales de mediana o alta resolución, por ejemplo:

- NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo
- EVI: Índice de Vegetación Mejorado
- Entre otros.

***Prácticas de Conservación***

Práctica de mecánica de apoyo en el suelo que tiene la finalidad de reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie. Si no existe alguna práctica de conservación el valor de esta variable será 1.

**Diagrama de Flujo Elaborado para Discriminar los Impactos Ambientales Naturales de los Antropogénicos en Actividades Mineras**



### Bibliografía

- Addati, G., & Pérez, G. (2014). *INTRODUCCIÓN A LOS UAV'S, DRONES O VANTS DE USO CIVIL*. Buenos Aires: Universidad del CEMA.
- Campos, Guerrero, & Gines. (2014). *Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000 – 2014*.
- D.W. Blowes, C. P. (2003). The Geochemistry of Acid Mine Drainage. *Pergamon*, 149-204.
- Elias, S. (2013). *Geosciences: The Study of the Solid and Molten Parts of the Earth and How They Interact with Our Environment*. Elseiver.
- Epov, M., Yurkevich, N., Bortnikova, S., Karin, Y., & Saeva, O. (2017). *Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods: a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant*.
- Fonseca, e. a. (2014). *Predicting soil erosion using RUSLE and NDVI time series from TM Landcast 5*.
- Kelepertzis, E. &. (2017). QUALITY CHARACTERISTICS OF SURFACE WATERS AT ASPROLAKKAS RIVER BASIN, N.E. CHALKIDIKI, GREECE. *Bulletin of the Geological Society of Greece*.
- M.I. Epov, N. Y. (2017). *Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods*. Elseiver.
- Meneses, C. (2011). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. FAO.
- Renard, K., Fomento, G., Weesies, G., Mccool, D., & Yoder, D. (1997). *Predicción de la erosión del suelo por el agua: una guía para la planificación de la conservación con la Ecuación de pérdida de suelo universal revisada (RUSLE)*. Washington: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Sánchez, P. (2012). *LA TELEDETECCIÓN ENFOCADA A LA OBTENCIÓN DE MAPAS DIGITALES*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. (2015). *Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras*.
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. (2002). *Guía Metodológica sobre Drenaje Acido en la Industria Minera*.
- Soriano, L., Ruiz, M., & Ruiz, E. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero. *Industrial Data*, 18(2), 99-112.