

**INFORME N°00279-2019-OEFA/DEAM-STEC**

**A** : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**  
Director de Evaluación Ambiental

**DE** : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**  
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

**LUIS ÁNGEL ANCCO PICHUILLA**  
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía

**JUAN CARLOS FERNANDEZ CERNA**  
Especialista de Evaluaciones Ambientales

**ASUNTO** : Determinación de niveles de fondo y de referencia para metales y caracterización de parámetros edáficos en áreas de posible afectación de las comunidades campesinas Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani dentro del área de influencia del proyecto de exploración Haqira, ubicado en el distrito Challhuahuacho, provincia Cotabambas, y distrito Progreso, provincia Grau, departamento Apurímac

**CUE** : 2019-03-0001

**CÓDIGO DE ACCIÓN** : 0008-7-2019-401

**REFERENCIA** : Planefa 2019

**FECHA** : Lima, 07 de noviembre de 2019

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

**1. INFORMACIÓN GENERAL****Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Áreas de posible afectación en las comunidades campesinas de Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani dentro del área de influencia del proyecto de exploración Haqira
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Proyecto de exploración Haqira
c.	Problemática identificada	Conflictividad socio ambiental, entre la sociedad civil y la empresa minera
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019 / POI 2019
e.	Tipo de evaluación	Estudio especializado
f.	Periodo de ejecución	Del 23 de julio al 11 de agosto de 2019

Profesionales que aportaron a este documento:

**Tabla 1.2.** Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ing. Químico	Gabinete
2	Luis Angel Ancco Pichuilla	Ing. Químico	Gabinete
3	Carlos Alberto Santa Cruz Becerra	Bach. en Agronomía	Campo y gabinete
4	Jorge Luis Fernández Najarro	Bach. en Ing. Ambiental	Campo
5	Juan Carlos Fernández Cerna	Biólogo	Campo

## 2. INTRODUCCION

El presente informe corresponde a la determinación de los niveles de fondo y de referencia para metales y caracterización de parámetros edáficos (en adelante, estudio de suelos), que se llevó a cabo en áreas para la determinación del nivel de fondo (en adelante, ANF) ubicadas dentro del área de influencia del proyecto de exploración Haqira<sup>1</sup> de la empresa Minera Antares Perú S.A.C.

El proyecto de exploración Haqira, geográficamente se ubica en los distritos Challhuahuacho y Progreso, provincia Cotabambas y Grau, departamento de Apurímac. La referida empresa realizó actividades de perforación en este proyecto desde el año 2001, que constan de 418 plataformas (446 sondajes), 418 pozas de sedimentación y 30 791,10 m de accesos internos, con la finalidad de delimitar cuerpos mineralizados de interés económico (cobre) en las concesiones mineras Haqira 2, Haqira 3, Haqira 4 y Haqira 5.

Los instrumentos de gestión ambiental (en adelante, IGA) presentados por Minera Antares Perú SAC, refieren que las comunidades campesinas Huanacopampa, Lahuani, Pararani y Ccahuanhuire se encuentran en el área de influencia social directa; Mientras que, los distritos Challhuahuacho y Progreso son clasificados como área de influencia social indirecta.

La principal problemática que existe en el ámbito del proyecto de exploración Haqira es la conflictividad socio ambiental, entre la sociedad civil y la empresa minera, las comunidades campesinas sostienen que, debido a las actividades de exploración realizadas por Minera Antares Perú S.A.C., se está afectando al ambiente y la salud de la población; lo cual podría cobrar más relevancia cuando el administrado comience con las actividades de explotación.

En atención a lo mencionado anteriormente la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en el marco del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización 2019 realizó el presente estudio con la finalidad de conocer las condiciones naturales del suelo específicamente los niveles de fondo de metales, antes de que se inicien las actividades mineras del Proyecto de exploración Haqira y tener información para las evaluaciones futuras.

Para lo cual se colectaron 90 muestras compuestas de suelo del 23 de julio al 11 de agosto de 2019 y se determinó la concentración de metales a través de un laboratorio acreditado contratado por el OEFA. Con los resultados de las concentraciones y mediante un tratamiento estadístico se obtuvieron los niveles de fondo.

La presente evaluación se realizó en el marco de la función evaluadora del OEFA y se justifica debido a la falta de información sobre la calidad ambiental del suelo, del material parental a partir del cual se formó y de las posibles fuentes que podrían alterar este

<sup>1</sup> El área de influencia social directa e indirecta se indica en la Segunda Modificación del EIAsd del Proyecto de Exploración Haqira, Cap. 4 Descripción del área del proyecto: Aspectos socioeconómicos.

componente ambiental dentro del área de estudio. La información contenida en este informe constituirá un soporte técnico para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental.

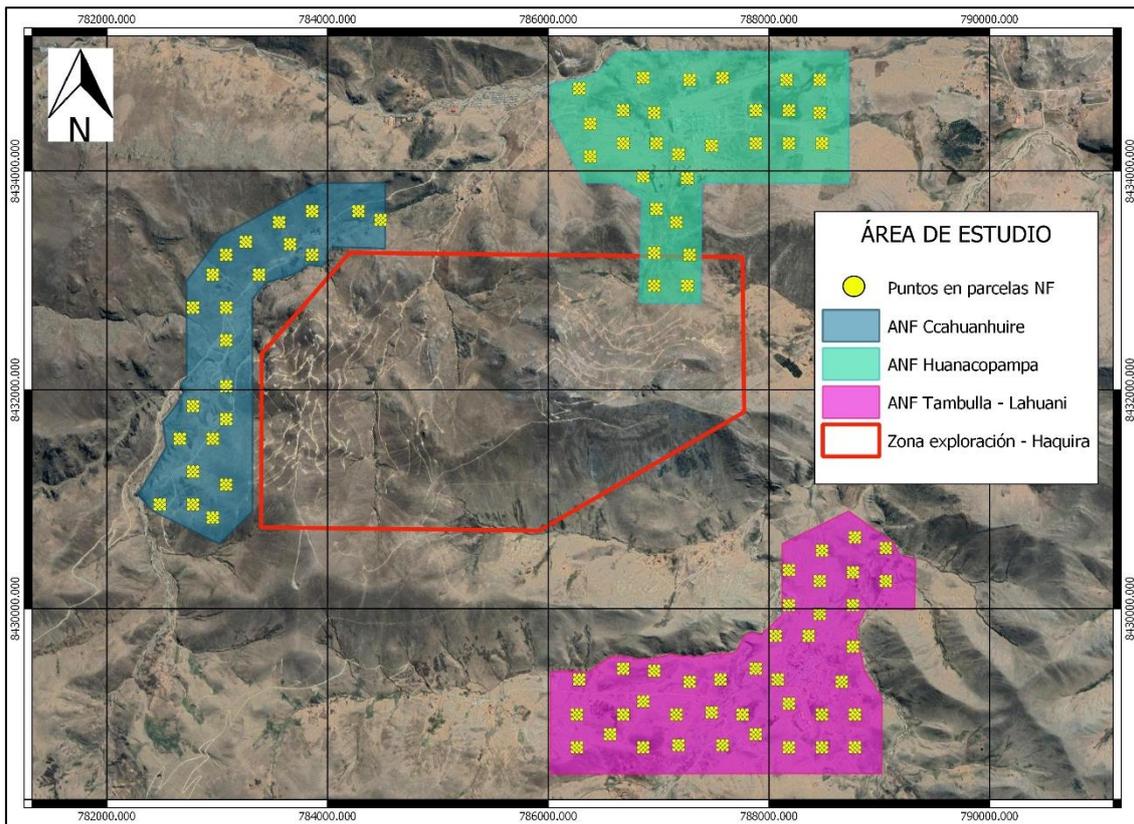
### 3. OBJETIVO

Determinar los niveles de fondo y de referencia para metales y caracterizar parámetros edáficos en áreas de posible afectación de las comunidades campesinas Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani.

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca terrenos de las comunidades campesinas Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani que se encuentran circunscritos al área de influencia del proyecto de exploración Haqira<sup>2</sup>, ubicado políticamente en el distrito Chalhuahuacho, provincia Cotabambas y distrito Progreso, provincia Grau, en el departamento Apurímac.

El área de estudio se dividió en 3 áreas para la determinación del nivel de fondo de metales: ANF Ccahuanhuire, ANF Huanacopampa y ANF Tambulla – Lahuani, dentro de las cuales se ubicaron las parcelas de muestreo teniendo en cuenta el patrón aleatorio estratificado. Estas ANF se ubican en zonas de posible afectación aledañas a la zona de exploración del proyecto Haqira (Figura 4.1).



**Figura 4.1.** Área de estudio para la determinación de niveles de fondo

**Nota:** La zona de exploración se extrajo de la Segunda Modificación del EIASd del Proyecto de Exploración Haqira, Cap. 4 Descripción del área del proyecto.

<sup>2</sup> Se indica en la Segunda Modificación del EIASd del Proyecto de Exploración Haqira, Cap. 4 Descripción del área del proyecto.

La presente evaluación se llevó a cabo determinando unidades homogéneas de tierra dentro de las ANF, utilizando la información levantada en campo por el OEFA durante el reconocimiento; así como, información referida a zonas de vida, paisaje, relieve, material parental y capacidad de uso mayor de suelos, extraída de los mapas (escalas 1:1000000, 1:100000) elaborados por el Ministerio de Agricultura (Minagri) y el Ministerio del Ambiente (Minam). Las unidades geológicas fueron tomadas de la carta nacional emitida por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a escala 1:50000.

Las zonas de vida que se encuentran distribuidas dentro del área de estudio son: paramo muy húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS) y bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS). El paisaje está conformado por montañas, colinas y planicies; el paisaje montañoso está constituido por laderas largas de montañas bajas y altas, de relieves moderadamente empinados a muy empinados.

El paisaje colinoso está representado por laderas largas y cortas de relieves fuertemente inclinados a empinados, con pendientes comprendidas entre 8 % y 50 %. El paisaje de planicie está representado por terrazas fluviales de relieves planos a moderadamente inclinados, con pendientes menores del 8 %, y por pie de montes, valles intermontañosos con bofedales y superficies hidromórficas, de relieves planos a fuertemente inclinados, con pendientes menores de 15 %.

El material parental, a partir del cual se formaron los suelos, está conformado por 2 tipos: el material residual, que se encuentra en las cimas y laderas, proviene de la meteorización *in situ* por cambios físicos y químicos de la roca original, pudiendo ser rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas; y el material transportado, que ha sido depositado por diversos agentes de transporte, reconociéndose los siguientes subtipos: fluvial, aluvial, coluvial, coluvio-aluvial, fluvio glaciar y glaciar.

Las unidades litoestratigráficas se encuentran asociadas a las Formaciones Murco constituidas por estratos delgados de limoarcillas intercalados con limoareniscas y secuencias de estratos de calizas de la Formación Arcurquina del Cretácico. Las secuencias sedimentarias del Grupo Yura del Jurásico están representadas en el área de evaluación con las secuencias sedimentarias de las Formaciones Cachios, Labra, Gramadal, y Hualhuani. Asimismo, las secuencias se encuentran cubiertas por material cuaternario (depósito coluvial y depósito aluvial) presentando una matriz de material fino y clastos angulosos de cuarcitas, areniscas, limolitas y dioritas.

Según el mapa de la capacidad de uso mayor de tierras del Perú (escala 1:1000000), los suelos evaluados están comprendidos dentro de:

- Tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo, erosión y clima, en asociación con tierras de protección (P3sec - Xse) en una proporción 70 – 30.
- Tierras de protección en asociación con tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo y erosión y con tierras aptas para cultivos en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo, erosión y clima (Xse – P3se – A3sec) en una proporción 75 – 15 – 10.

## 5. METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo tomando como base el muestreo de nivel de fondo en parcelas ubicadas dentro del área de influencia del proyecto Haqira, abarcando terrenos de las comunidades campesinas Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani.

La finalidad de este muestreo es determinar la concentración de origen natural (niveles de fondo y de referencia) de una o más sustancias químicas en el suelo, con el fin de establecer si se supera o no a los Estándares de Calidad Ambiental (en adelante, ECA para Suelos); lo cual se debe considerar en futuras evaluaciones.

En esta sección se proporciona información concerniente a la metodología utilizada para la determinación de los niveles de fondo y de referencia para metales y otros parámetros edáficos (en adelante, estudio de suelos) del suelo en el área de estudio, documentos técnicos, ubicación de parcelas y puntos de muestreo, parámetros a evaluar y los criterios de análisis de resultados.

### 5.1. Documentos técnicos utilizadas para la evaluación

El estudio de suelos se llevó a cabo tomando en cuenta los documentos listados en la Tabla 5.1. Estos documentos indican que se debe de realizar la delimitación de unidades homogéneas de tierra y áreas de potencial afectación, el levantamiento técnico del sitio, entre otras actividades, que sirvieron de sustento para la planificación y ejecución del muestreo de nivel de fondo, basado principalmente en la «Guía para el muestreo de suelos» aprobada mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM.

**Tabla 5.1.** Documentos técnicos usados durante el estudio de suelos

Protocolo	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor	Perú	Ministerio de Agricultura	Decreto Supremo N.º 017-2009-AG	2009
Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de suelos			Decreto Supremo N.º 013-2010-AG	2010
Guía para el Muestreo de Suelos		Ministerio del Ambiente – Minam	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	2014
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo		Ministerio del Ambiente – Minam	Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM	2017
Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados		Ministerio del Ambiente – Minam	Decreto Supremo N.º 012-2017-MINAM	2017

### 5.2. Parcelas y puntos de muestreo

Previo a la determinación de parcelas y puntos de muestreo, se llevó a cabo una evaluación preliminar del área de estudio<sup>3</sup>, la cual consistió en realizar la investigación histórica, el levantamiento técnico del sitio y el modelo conceptual.

#### 5.2.1. Investigación histórica

Con la finalidad de llevar de manera adecuada el estudio de suelos dentro del área de influencia del proyecto de exploración Haquira, se recopiló y revisó información contenida en los instrumentos de gestión ambiental<sup>4</sup>. Esta información nos permitió determinar el área de exploración del proyecto, perforaciones, posibles componentes mineros, pasivos ambientales, línea base de suelo, flora, fauna, agua, aire, evaluación de impactos físicos y biológicos, así como otras actividades desarrolladas hasta la fecha por el administrado.

El análisis de esta información también nos permitió determinar las áreas de nivel de fondo (en adelante, ANF), donde se llevó a cabo el muestreo y a precisar que dentro de estas no se hayan desarrollado actividades relacionadas con el administrado que puedan afectar los

<sup>3</sup> Se llevó a cabo revisando información de gabinete y levantando información de campo durante la visita de reconocimiento.

<sup>4</sup> Segunda modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado Categoría II del proyecto de exploración Haquira, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Directoral N.º 510-2015-MEM/DGAAM, el 30 de diciembre de 2015.

resultados del muestreo. Se recopiló y revisó información existente de estudios de suelo dentro de estas áreas, lo cual se utilizó juntamente con información geológica, climatológica, ecológica, imágenes satelitales, mapas topográficos y mapas de pendientes para seleccionar de manera preliminar la ubicación de las parcelas para el muestreo de suelo y posterior determinación del nivel de fondo de metales.

### 5.2.2. Levantamiento técnico del sitio

Esta actividad se realizó durante la visita de reconocimiento, con la finalidad de confirmar y complementar la información recopilada durante la investigación histórica y poder sustentar la planificación del muestreo de nivel de fondo; quedando de esta manera identificada el área a evaluar, el área de exploración del proyecto, las características y usos del suelo, así como las vías de transporte de contaminantes y los potenciales receptores humanos, ambientales y ecológicos de producirse alguna afectación al suelo en el futuro.

Durante el levantamiento técnico se evaluaron suelos de uso agrícola con vegetación natural, bosque plantado, cultivos, terrenos en barbecho y suelos de uso residencial y actividades de esparcimiento. Se observó que el paisaje está dominado por montañas y colinas de laderas largas, con relieves que van de fuertemente inclinados a muy empinados, además se observó que el material parental predominante está conformado por 2 tipos: residual y transportado; estos suelos no presentaron afectación visible por actividades relacionadas al administrado. Para más información revisar Anexo E. Datos de campo: «Fichas técnicas de parcelas de nivel de fondo».

### 5.2.3. Modelo conceptual

En base a la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio, se desarrolló un modelo conceptual (Figura 5.1) considerando que en el futuro podría producirse algún evento ambiental inesperado que afecte al suelo; para lo cual se simuló la representación esquemática de un sistema ambiental (evento inesperado) en el área donde se llevó a cabo el muestreo de nivel de fondo, así como, de los procesos que determinarían el transporte de potenciales contaminantes a partir de las posibles fuentes, el trayecto de exposición y los posibles receptores involucrados.

En áreas de influencia minera generalmente se consideran como fuentes primarias de potencial afectación a los siguientes componentes mineros: tajos, relaveras, PAD de lixiviación, botaderos de material de desmonte, pilas de almacenamiento de suelo superficial (*top soil*), pilas de mineral de baja ley, chancador primario, patio de acopio de residuos, taller de mantenimiento, polvorines, entre otros.

Estos componentes mineros si son manejados inadecuadamente podrían generar riesgos a la salud y al medio ambiente, al aportar contaminantes como por ejemplo metales pesados al aire, suelo superficial, suelo subsuperficial, agua superficial, sedimentos y agua subterránea; debido a que en la mayoría de los casos se encuentran expuestos y sin ningún tipo de aislamiento. En algunos casos estos componentes ambientales podrían actuar como fuentes secundarias al ser influenciadas por las fuentes primarias.

En operaciones mineras, el tránsito de equipos y maquinarias, la erosión y el movimiento de tierras, el minado (perforación y voladura), carguío y acarreo, acumulación de material, etc., pueden ser la causa principal para que el contaminante llegue al receptor. También pueden ser afectados los receptores por rebalses y filtraciones en el sistema de manejo y conducción de aguas superficiales de contacto, así como derrames y acumulación de materiales peligrosos.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Al encontrarse expuestos tajos, botaderos, *stock piles*, chancadora, almacenes, sistemas de carguío y acarreo de materiales, los contaminantes podrían ser transportados por acción de la erosión eólica (dispersión atmosférica), por agua de lluvia, arrastre, escorrentía, lixiviación, infiltración, llegando de esta manera hasta los receptores ambientales (suelo, agua, aire), cuya exposición al humano, animales, plantas y organismos acuáticos podría darse por contacto dérmico, respiración, ingestión, inhalación o adsorción.

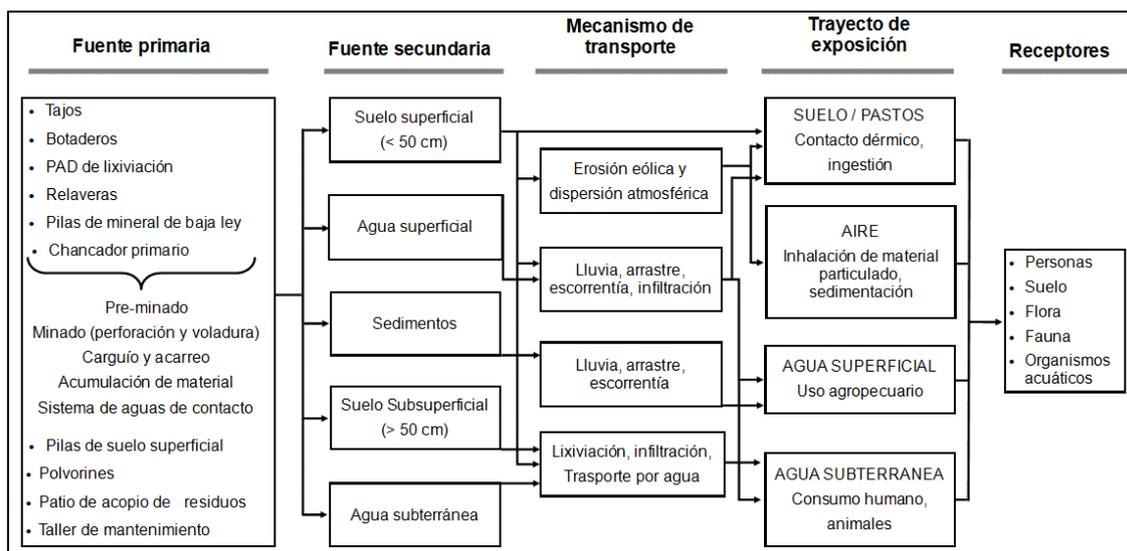


Figura 7.1. Modelo conceptual simulando un posible sistema ambiental a futuro

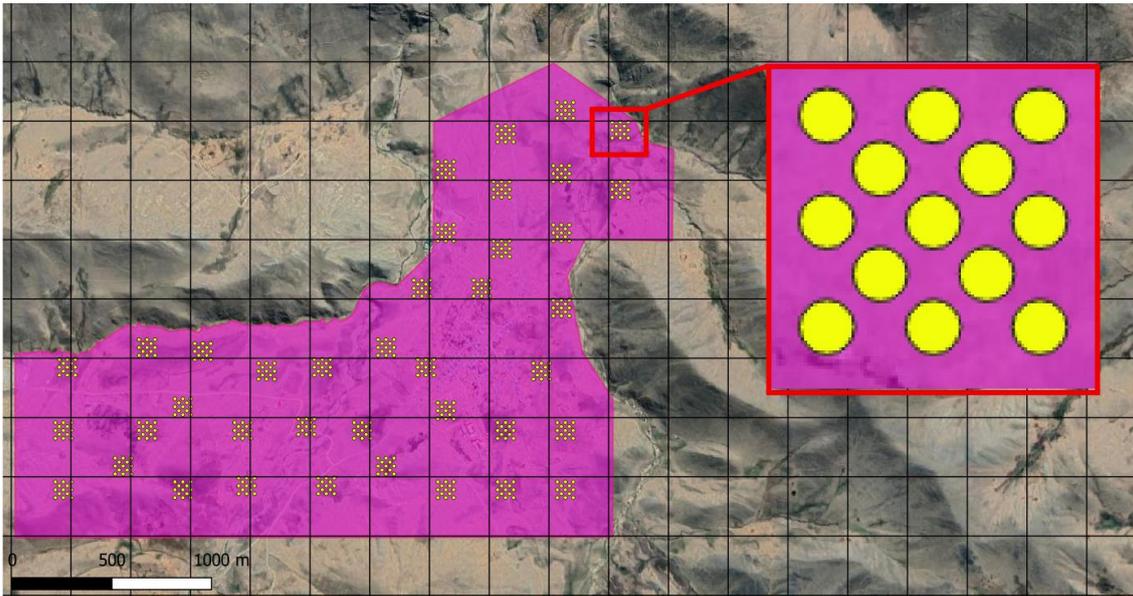
### 5.2.4. Determinación de áreas, parcelas y puntos de muestreo de nivel de fondo

Partiendo de la información recabada durante la evaluación preliminar se determinó que el muestreo de nivel de fondo se llevaría a cabo en 150 parcelas de 10000 m<sup>2</sup> (100 x 100 c/u), las cuales fueron ubicadas en una extensión de 1682 hectáreas, abarcando terrenos de las comunidades campesinas Ccahuanhuire, Huanacopampa, Ccasa, Pararani, Tambulla y Lahuani; sin embargo, solamente se lograron muestrear 90 parcelas en las comunidades de Ccahuanhuire, Huanacopampa, Tambulla y Lahuani, esto debido a la problemática socioambiental en la que se encontraba la zona al momento del muestreo.

Las parcelas fueron localizadas teniendo en cuenta el patrón de muestreo estadístico «aleatorio estratificado» sobre una rejilla regular de 300 m x 300 m, debido a que el área a evaluar presenta variadas características geomorfológicas. Cada parcela representa a una unidad homogénea de tierra dentro de cada cuadrícula de la rejilla (Figura 5.1).

Las muestras de suelo colectadas mediante el muestreo de nivel de fondo fueron compuestas y se conformaron por 13 submuestras recogidas en un sistema de rejillas triangulares sobre líneas paralelas equidistantes (separadas cada 20 metros) formando triángulos equiláteros con las mismas dimensiones dentro de cada parcela (Figura 5.1). En el Anexo C se presenta la Tabla 1, donde se detalla la información sobre cada parcela y puntos de muestreo (submuestras).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 5.1.** Detalle del sistema de muestreo dentro de las áreas para la determinación de nivel de fondo

### 5.3. Equipos utilizados durante el muestreo

Antes de salir a campo se realizó la verificación de equipos y materiales, los cuales fueron utilizados para el muestreo de suelos, detallándose en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2.** Equipos y materiales utilizados durante el muestreo de suelo

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie	N.º de certificado de calibración
Barreno	AMS	S/M	S/s	S/CC
Cámara fotográfica digital	Canon	D30BL	92051002040	S/CC
GPS	Garmin	Montana 680	4HU005006	S/CC
Tabla Munsell	Munsell	Production 2013	M50215B	Revisión 2009

### 5.4. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros considerados para llevar a cabo el presente estudio fueron seleccionados en función de las actividades que pretende desarrollar el administrado y que puedan afectar al suelo dentro del área de estudio, teniendo en cuenta los parámetros contemplados en los ECA para Suelo; así también, se evaluaron parámetros adicionales que nos ayudaron en la interpretación de los resultados.

Los parámetros y métodos de análisis empleados por los laboratorios ALS LS PERU S.A.C. y TYPASA PERÚ (acreditados ante Instituto Nacional de Calidad - Inacal) se encuentran detallados en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3.** Parámetros y métodos de análisis empleados en el estudio de suelos

Parámetro	Método de Análisis	Laboratorio	Requerimiento de servicio	N.º de muestras programadas	N.º de muestras ejecutadas	Observaciones
Metales totales	EPA Method 3050 B / EPA Method 6010 D, Rev. 5 July. 2018	ALS LS PERU S.A.C.	2027-2019	150	95	05 duplicados
Mercurio total	EPA 7471B, Rev 2, February 2007	ALS LS PERU S.A.C.	2027-2019	150	95	05 duplicados

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Parámetro	Método de Análisis	Laboratorio	Requerimiento de servicio	N.º de muestras programadas	N.º de muestras ejecutadas	Observaciones
Caracterización de suelo	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Lima – Perú ED. 2017	TYPSA PERÚ	2151-2019	100	48	---

### 5.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad se basó en la guía para el muestreo de suelos del Minam, donde se dan recomendaciones para el manejo de las muestras y se indica que se deben duplicar el 10 % de las muestras a ser analizadas para sitios con superficies menores o igual a 20 ha, y 5 % para superficies mayores a 20 ha; también se tomarán en cuenta los criterios técnicos para la aplicación de los ECA suelo para actividades mineras, emitido por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, en base al Informe Técnico N° 756-2014-MINAM/VMGA/DGCA, con asunto «Consultas sobre ECA suelo en el sector minero». Para el presente estudio se tomaron 5 duplicados ya que la superficie evaluada superó las 20 hectáreas (Anexo A).

### 5.6. Procesamiento de datos

Teniendo como base los resultados obtenidos del muestreo estadístico en las áreas de nivel de fondo, se utilizó la geoestadística como una herramienta que nos proporciona un marco matemático-estadístico; lo cual nos permitirá conocer la distribución espacial de los metales pesados y parámetros edáficos en el suelo evaluado, logrando distinguir zonas de enriquecimiento natural (en caso se presente).

Se utilizó el software Surfer Versión 10.1.561, para representar mapas de concentraciones en los sistemas evaluados; para ello, a cada punto de muestreo, definido por sus coordenadas de posición (x, y), se le asoció la concentración experimental del parámetro evaluado «Z», con lo que el programa realizó las interpolaciones necesarias tipo *kriging*, hasta obtener un mapa de isovalores de concentración que permitió visualizar la situación ambiental.

Para la determinación de los valores de nivel de fondo y de referencia, los resultados obtenidos del muestreo fueron sometidos a un tratamiento estadístico mediante el uso del software ProUCL 5.1, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2015). Para mayor detalle revisar los Anexos H, I, J.

El nivel de fondo es considerado como la media aritmética o geométrica de algún contaminante en suelos naturales, el nivel de referencia está definido como el límite superior de las concentraciones de fondo (valor umbral), pudiendo usarse los percentiles 90, 95 y 99. En este estudio se consideró como nivel de fondo a la cota superior de la media y como nivel de referencia a la cota superior del percentil 95; además se presentan otros valores como la media, mediana, percentiles 90, 95, 99 y estadísticos descriptivos a partir de los cuales se puede deducir los niveles de fondo y de referencia del suelo evaluado.

### 5.7. Criterios de evaluación

Los resultados analíticos de los metales arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo, obtenidos del muestreo de nivel de fondo, fueron comparados con los ECA para Suelo de uso agrícola, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM. Si las

concentraciones de fondo de estos metales superasen dicha normativa, los resultados que se obtengan en futuras evaluaciones de sitios contaminados dentro del área evaluada o suelos aledaños, serán comparados con los valores de fondo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 012-2017-MINAM.

En el caso de aquellos metales como el cobre, cromo, molibdeno, vanadio y zinc, entre otros que pueden ser derivados de las actividades relacionadas al administrado en el área y no se encuentran reguladas en los ECA para suelo, la comparación referencial se realizó con las pautas canadienses de calidad del suelo de uso agrícola para la protección del medio ambiente y salud humana - CEQG-SQG<sup>5</sup> (en adelante guía canadiense); conforme a lo dispuesto en el ítem 1.4 de la guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos, aprobada mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM.

La clasificación de parámetros edáficos como potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica, fósforo y potasio se realizó tomando en cuenta el Anexo N.º IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.º 017-2009-AG; mientras que, la conductividad eléctrica se clasificó referencialmente en base a la propuesta del laboratorio análisis de fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF- UNALM), el nivel de CaCO<sub>3</sub> se clasificó en base a la propuesta de Guerrero (1998) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se clasificó de acuerdo con la tabla de rangos interpretativos propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012).

## 6. RESULTADOS

Para la presentación de resultados, las parcelas de nivel de fondo fueron agrupadas por comunidad campesina y teniendo en cuenta la variabilidad del suelo; de esta manera se determinaron niveles de fondo para 3 áreas: ANF Ccahuahuire, ANF Huanacopampa y ANF Tambulla - Lahuani.

En la Tabla 6.1 se presenta la distribución de las parcelas dentro de las ANF, para mayor detalle ver Anexo A.

**Tabla 6.1.** distribución de las parcelas de muestreo de nivel de fondo

Área	Códigos de muestra de nivel de fondo	Comunidad campesina
ANF Ccahuahuire (ANF-C)	Del NFH-1 al NFH-23	Ccahuahuire
ANF Huanacopampa (ANF-H)	Del NFH-38 al NFH-65	Huanacopampa
ANF Tambulla - Lahuani (ANF-TL)	Del NFH-112 al NFH-150	Tambulla Lahuani

Los resultados obtenidos del muestreo de nivel de fondo en las distintas áreas fueron analizados de acuerdo con lo explicado en el acápite «criterios de evaluación», por lo que el presente apartado se dividió en «clasificación de parámetros edáficos» y «determinación de valores de nivel de fondo y referencia».

<sup>5</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Agricultural o Industrial* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para la protección del medio ambiente y salud humana de uso agrícola).

### 6.1. Clasificación de parámetros edáficos

La clasificación de parámetros edáficos (Tablas 6.2, 6.3 y 6.4) fue realizada en base a resultados obtenidos de 48 muestras, tomadas en los primeros 0,20 m de profundidad, en el suelo de las parcelas ubicadas en las 3 ANF.

Los suelos evaluados son superficiales a muy superficiales, de tipo mineral, formados a partir de material parental residual y transportado (coluvial, coluvio-aluvial y aluvial). Estos suelos presentan reacción variable dentro de los rangos de la acides, en el ANF Ccahuahuire predomina la clase de pH extremadamente ácida, en las ANF Huanacopampa y Tambulla – Lahuaní predomina la clase muy fuertemente ácida; no se reportan problemas de sales, tampoco la presencia de carbonatos.

Se registraron niveles variables (altos, bajos y medios) de materia orgánica, fósforo y potasio; por lo que, la fertilidad química de estos suelos fue de media a baja. Tanto suelos residuales como transportados (coluviales y coluvio aluviales) de las 3 ANF presentaron una clase textural franco arenosa (moderadamente gruesa) de manera predominante, los suelos aluviales presentaron una textura arenosa (gruesa). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) que refleja la fertilidad potencial de un suelo es predominantemente baja, lo cual se relaciona con los valores de pH y los contenidos de arcilla y materia orgánica.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Tabla 6.2.** Clasificación de parámetros edáficos en el ANF Ccahuahuire

Código	pH		C.E. (dS/m)		CaCO <sub>3</sub> (%)		M.O (%)		P (ppm)		K (ppm)		Fertilidad*	Análisis mecánico			Clase textual	CIC (meq/100g)	
	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S		A	L	Ar		Valor	C.S
														%					
NFH-1-4	6,26	Ligeramente ácido	0,183	No salino	<0,01	Bajo	2,57	Medio	28,72	Alto	159,9	Medio	Medio	63	27	10	Fr.A.	12,58	Bajo
NFH-2-5	4,65	Muy fuertemente ácido	0,069	No salino	<0,01	Bajo	3,36	Medio	25,53	Alto	169,5	Medio	Medio	65	20	15	Fr.A.	14,54	Bajo
NFH-3	4,58	Extremadamente ácido	0,084	No salino	<0,01	Bajo	3,38	Medio	35,73	Alto	180,4	Medio	Medio	63	21	16	Fr.A.	14,50	Bajo
NFH-6-8-10	4,57	Extremadamente ácido	0,051	No salino	<0,01	Bajo	6,30	Alto	30,09	Alto	189,5	Medio	Medio	64	21	15	Fr.A.	14,76	Bajo
NFH-7-9	4,50	Extremadamente ácido	0,062	No salino	<0,01	Bajo	3,20	Medio	36,29	Alto	126,3	Medio	Medio	33	42	25	Fr.	14,67	Bajo
NFH-11	4,55	Extremadamente ácido	0,036	No salino	<0,01	Bajo	2,71	Medio	18,34	Alto	67,2	Bajo	Bajo	64	20	16	Fr.A.	13,92	Bajo
NFH-12-15	4,50	Extremadamente ácido	0,042	No salino	<0,01	Bajo	2,72	Medio	28,20	Alto	120,7	Medio	Medio	67	18	15	Fr.A.	13,47	Bajo
NFH-13-14	4,55	Extremadamente ácido	0,070	No salino	<0,01	Bajo	3,20	Medio	29,70	Alto	102,7	Medio	Medio	64	21	15	Fr.A.	13,45	Bajo
NFH-16-17	4,47	Extremadamente ácido	0,052	No salino	<0,01	Bajo	4,68	Alto	24,99	Alto	116,0	Medio	Medio	69	19	12	Fr.A.	13,03	Bajo
NFH-18	4,40	Extremadamente ácido	0,146	No salino	<0,01	Bajo	3,26	Medio	39,26	Alto	199,4	Medio	Medio	63	22	15	Fr.A.	14,08	Bajo
NFH-19-20-21	4,36	Extremadamente ácido	0,018	No salino	<0,01	Bajo	3,53	Medio	64,09	Alto	228,6	Medio	Medio	65	19	16	Fr.A.	15,69	Medio
NFH-22-23	4,62	Muy fuertemente ácido	0,081	No salino	<0,01	Bajo	4,04	Alto	29,89	Alto	173,9	Medio	Medio	63	22	15	Fr.A.	13,26	Bajo

Fuente: Anexo A.

**Tabla 6.3.** Clasificación de parámetros edáficos en el ANF Huanacopampa

Código	pH		C.E. (dS/m)		CaCO <sub>3</sub> (%)		M.O (%)		P (ppm)		K (ppm)		Fertilidad*	Análisis mecánico			Clase textual	CIC (meq/100g)	
	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S		A	L	Ar		Valor	C.S
														%					
NFH-38-39-41-46	4,82	Muy fuertemente ácido	0,034	No salino	<0,01	Bajo	3,36	Medio	20,00	Alto	140,3	Medio	Medio	58	25	17	Fr.A.	12,16	Bajo
NFH-40	5,14	Fuertemente ácido	0,124	No salino	<0,01	Bajo	1,97	Bajo	25,42	Alto	116,0	Medio	Bajo	65	20	15	Fr.A.	15,19	Medio
NFH-42-45	4,92	Muy fuertemente ácido	0,122	No salino	<0,01	Bajo	2,83	Medio	33,36	Alto	166,8	Medio	Medio	68	17	15	Fr.A.	13,71	Bajo
NFH-43-56	4,28	Extremadamente ácido	0,229	No salino	<0,01	Bajo	2,39	Medio	31,30	Alto	121,4	Medio	Medio	64	20	16	Fr.A.	13,19	Bajo
NFH-44	4,88	Muy fuertemente ácido	0,070	No salino	<0,01	Bajo	1,77	Bajo	30,24	Alto	118,9	Medio	Bajo	68	20	12	Fr.A.	11,76	Bajo
NFH-47-48	4,51	Extremadamente ácido	0,130	No salino	<0,01	Bajo	2,31	Medio	34,78	Alto	161,3	Medio	Medio	59	23	18	Fr.A.	12,18	Bajo

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Código	pH		C.E. (dS/m)		CaCO <sub>3</sub> (%)		M.O (%)		P (ppm)		K (ppm)		Fertilidad*	Análisis mecánico			Clase textual	CIC (meq/100g)	
	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S		A	L	Ar		Valor	C.S
														%					
NFH-49-50-51	4,57	Extremadamente ácido	0,059	No salino	<0,01	Bajo	3,38	Medio	27,08	Alto	125,2	Medio	Medio	65	20	15	Fr.A.	12,35	Bajo
NFH-52	4,75	Muy fuertemente ácido	0,038	No salino	<0,01	Bajo	3,34	Medio	22,76	Alto	92,8	Bajo	Bajo	59	23	18	Fr.A.	12,35	Bajo
NFH-53-54	4,80	Muy fuertemente ácido	0,079	No salino	<0,01	Bajo	2,28	Medio	21,21	Alto	207,4	Medio	Medio	67	18	15	Fr.A.	12,84	Bajo
NFH-55	4,88	Muy fuertemente ácido	0,071	No salino	<0,01	Bajo	1,47	Bajo	29,45	Alto	174,1	Medio	Bajo	61	21	18	Fr.A.	12,62	Bajo
NFH-57	4,92	Muy fuertemente ácido	0,138	No salino	<0,01	Bajo	2,64	Medio	22,36	Alto	148,1	Medio	Medio	59	23	18	Fr.A.	13,38	Bajo
NFH-58-61	4,70	Muy fuertemente ácido	0,057	No salino	<0,01	Bajo	2,80	Medio	22,60	Alto	133,0	Medio	Medio	62	23	15	Fr.A.	12,79	Bajo
NFH-59-60-65	4,68	Muy fuertemente ácido	0,041	No salino	<0,01	Bajo	1,75	Bajo	28,78	Alto	145,1	Medio	Bajo	62	20	18	Fr.A.	12,37	Bajo
NFH-62-63	4,75	Muy fuertemente ácido	0,070	No salino	<0,01	Bajo	3,40	Medio	19,75	Alto	156,9	Medio	Medio	62	23	15	Fr.A.	13,11	Bajo
NFH-64	4,81	Muy fuertemente ácido	0,080	No salino	<0,01	Bajo	2,66	Medio	103,43	Alto	181,6	Medio	Medio	63	21	16	Fr.A.	13,77	Bajo

Fuente: Anexo A.

**Tabla 6.4.** Clasificación de parámetros edáficos en el ANF Tambulla - Lahuaní

Código	pH		C.E. (dS/m)		CaCO <sub>3</sub> (%)		M.O (%)		P (ppm)		K (ppm)		Fertilidad*	Análisis mecánico			Clase textual	CIC (meq/100g)	
	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S		A	L	Ar		Valor	C.S
														%					
NFH-112-117-118	4,82	Muy fuertemente ácido	0,082	No salino	<0,01	Bajo	1,73	Bajo	31,07	Alto	135,8	Medio	Bajo	60	25	15	Fr.A.	12,27	Bajo
NFH-113-114	4,66	Muy fuertemente ácido	0,055	No salino	<0,01	Bajo	1,94	Bajo	39,31	Alto	102,2	Medio	Bajo	62	23	15	Fr.A.	15,14	Medio
NFH-115	4,45	Extremadamente ácido	0,065	No salino	<0,01	Bajo	1,15	Bajo	27,0	Alto	98,6	Bajo	Bajo	60	24	16	Fr.A.	14,19	Bajo
NFH-116-121	4,72	Muy fuertemente ácido	0,096	No salino	<0,01	Bajo	2,91	Medio	25,57	Alto	162,2	Medio	Medio	58	26	16	Fr.A.	15,44	Medio
NFH-119	5,14	Fuertemente ácido	0,066	No salino	<0,01	Bajo	0,96	Bajo	7,45	Medio	155,2	Medio	Bajo	60	25	15	Fr.A.	15,28	Medio
NFH-124	4,98	Muy fuertemente ácido	0,058	No salino	<0,01	Bajo	2,68	Medio	24,44	Alto	167,4	Medio	Medio	59	25	16	Fr.A.	14,63	Bajo
NFH-120-123	4,88	Muy fuertemente ácido	0,056	No salino	<0,01	Bajo	1,70	Bajo	25,06	Alto	159,1	Medio	Bajo	58	24	18	Fr.A.	11,98	Bajo



PERÚ

Ministerio  
del AmbienteOrganismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección  
Técnica CientíficaDecenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Código	pH		C.E. (dS/m)		CaCO <sub>3</sub> (%)		M.O (%)		P (ppm)		K (ppm)		Fertilidad*	Análisis mecánico			Clase textual	CIC (meq/100g)	
	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S		A	L	Ar		Valor	C.S
														%					
NFH-122	4,92	Muy fuertemente ácido	0,132	No salino	<0,01	Bajo	2,17	Medio	23,86	Alto	142,3	Medio	Medio	64	21	15	Fr.A.	14,15	Bajo
NFH-125-140-143	4,87	Muy fuertemente ácido	0,111	No salino	<0,01	Bajo	3,12	Medio	59,19	Alto	175,9	Medio	Medio	75	10	15	Fr.A.	13,01	Bajo
NFH-126-127-139	4,95	Muy fuertemente ácido	0,171	No salino	<0,01	Bajo	1,86	Bajo	51,11	Alto	242,3	Alto	Bajo	57	28	15	Fr.A.	13,23	Bajo
NFH-128-129	4,67	Muy fuertemente ácido	0,077	No salino	<0,01	Bajo	2,96	Medio	40,08	Alto	118,9	Medio	Medio	55	29	16	Fr.A.	14,21	Bajo
NFH-130-131	4,78	Muy fuertemente ácido	0,061	No salino	<0,01	Bajo	2,41	Medio	27,93	Alto	178,8	Medio	Medio	70	20	10	Fr.A.	12,98	Bajo
NFH-132	4,94	Muy fuertemente ácido	0,096	No salino	<0,01	Bajo	4,14	Alto	31,92	Alto	172,5	Medio	Medio	63	21	16	Fr.A.	15,20	Medio
NFH-133-134	4,88	Muy fuertemente ácido	0,055	No salino	<0,01	Bajo	1,75	Bajo	24,48	Alto	118,5	Medio	Bajo	60	24	16	Fr.A.	12,86	Bajo
NFH-135-136-147	4,68	Muy fuertemente ácido	0,046	No salino	<0,01	Bajo	2,59	Medio	41,14	Alto	149,5	Medio	Medio	60	24	16	Fr.A.	14,26	Bajo
NFH-137	5,20	Fuertemente ácido	0,080	No salino	<0,01	Bajo	1,58	Bajo	21,12	Alto	88,5	Bajo	Bajo	90	9	1	A.	3,96	Muy bajo
NFH-138-146	4,80	Muy fuertemente ácido	0,111	No salino	<0,01	Bajo	3,21	Medio	28,96	Alto	171,1	Medio	Medio	57	28	15	Fr.A.	12,30	Bajo
NFH-141-142	4,76	Muy fuertemente ácido	0,079	No salino	<0,01	Bajo	2,28	Medio	72,52	Alto	145,6	Medio	Medio	52	33	15	Fr.A.	12,05	Bajo
NFH-144-145	5,05	Muy fuertemente ácido	0,061	No salino	<0,01	Bajo	2,14	Medio	24,30	Alto	93,7	Bajo	Bajo	59	25	16	Fr.A.	12,88	Bajo
NFH-148	4,92	Muy fuertemente ácido	0,168	No salino	<0,01	Bajo	2,21	Medio	30,78	Alto	204,7	Medio	Medio	61	21	18	Fr.A.	13,22	Bajo
NFH-149-150	5,18	Fuertemente ácido	0,039	No salino	<0,01	Bajo	2,30	Medio	30,22	Alto	128,3	Medio	Medio	60	24	16	Fr.A.	12,39	Bajo

Fuente: Anexo A.

## 6.2. Determinación de valores de nivel de fondo y referencia

Los valores de nivel de fondo y referencia presentados en la Tabla 6.5, fueron determinados teniendo en cuenta las 3 ANF, de acuerdo con lo descrito en la metodología del presente informe. En los Anexos H, I, J se puede verificar las fichas estadísticas obtenidas mediante el tratamiento de los datos para cada metal.

Las fichas están compuestas de un histograma, diagrama de caja, diagrama Q-Q de normalidad y un resumen de los datos estadísticos característicos de la población original como: número de datos, valor mínimo, valor máximo, media, percentil 95, varianza, desviación estándar, nivel de fondo, nivel de referencia, distribución, valores censurados y valores anómalos.

Los valores de nivel de fondo y referencia determinados para las 3 ANF, fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola y/o con la guía canadiense, según corresponda; a partir de ello en la Tabla 6.5 se puede observar que el ECA fue superado por los valores de nivel de fondo y referencia para arsénico en el ANF Ccahuanhuire y por los valores de referencia para plomo en las ANF Ccahuanhuire y tambulla – Lahuani.

La guía canadiense fue superada por los valores de nivel de fondo y referencia para cobre en el ANF Ccahuanhuire, en el ANF Huanacopampa el valor de nivel de referencia para este metal también la superó; mientras que en el ANF Tambulla – Lahuani la guía canadiense fue superada por el valor de nivel de referencia para zinc.

Las concentraciones de cadmio, mercurio, molibdeno, plata, níquel, berilio, antimonio, talio, selenio, boro, estaño, bismuto y litio, en las 3 ANF fueron reportadas como menores al límite de cuantificación del método de análisis en todos y/o en más del 70 % de los puntos de muestreo, por lo tanto, no se pudo determinar los valores de nivel de fondo y de referencia para estos metales. Caso similar paso con el arsénico, pero solamente en las ANF Huanacopampa y Tambulla – Lahuani.

**Tabla 6.5.** Valores de nivel de fondo y referencia comparados con la normativa ambiental

Parámetro (mg/kg)	ANF Ccahuanhuire		ANF Huanacopampa		ANF Tambulla - Lahuani		ECA uso agrícola	Guía canadiense uso agrícola
	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia		
Arsénico	63,35	138,9	ND	ND	ND	ND	50	---
Bario	67,92	86,77	79,18	114	136,1	231,9	750	---
Cadmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,4	---
Cromo	10,8	14,54	9,361	15,7	7,355	12,55	---	64
Mercurio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,6	---
Plomo	36,75	75,62	18,13	38,04	32,15	85,9	70	---
Cobre	95,98	227,8	40,41	64,45	28,64	43,92	---	63
Molibdeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	5
Zinc	59,61	94,4	49,55	72,33	158,6	402	---	250
Vanadio	41,24	56,6	39,24	57,36	37,51	61,86	---	130
Cobalto	6,081	9,777	5,999	9,919	6,784	11,72	---	40
Plata	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	20
Níquel	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	45
Berilio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	4
Antimonio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	20
Aluminio	33882	46885	36724	50903	30041	43971	---	---
Calcio	230,4	345,8	443,5	999,9	619,7	1536	---	---
Fósforo	736,3	970,3	1095	2887	941,7	1498	---	---
Hierro	21616	26523	19175	27219	18832	27837	---	---
Potasio	922,6	1362	852	1064	1118	1551	---	---
Magnesio	1620	2183	1677	2640	1385	2006	---	---
Manganeso	441,8	679,9	454,9	805,4	714	1300	---	---
Silicio	906,9	1130	727,9	933,2	732	995,6	---	---

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Parámetro (mg/kg)	ANF Ccahuahuire		ANF Huanacopampa		ANF Tambulla - Lahuani		ECA uso agrícola	Guía canadiense uso agrícola
	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia		
Estroncio	7,949	10,8	7,372	10,22	9,615	15,67	---	---
Titanio	514,2	747,3	719	1223	427,8	714,1	---	---
Sodio	33,87	53,75	57,54	103,4	97,62	217,7	---	---
Talio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---
Selenio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---
Boro	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---
Estaño	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---
Bismuto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---
Litio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	---	---

ND: No determinado, más del 70 % de los datos se encuentran por debajo del límite de cuantificación.

«---»: No existe valor para el parámetro dentro de la normativa.

■ Niveles de fondo y de referencia superan el ECA para suelos de uso agrícola del D.S. N.° 011-2017-MINAM.

■ Niveles de fondo y de referencia superan Guía canadiense para suelos de uso agrícola, actualización 2018

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Textura, materia orgánica y pH

La textura es la composición granulométrica del suelo, definida en cada horizonte por las distintas proporciones de arena, limo y arcilla, agrupadas en clases texturales (Porta *et al.*, 2003), sobre las cuales las partículas más pequeñas corresponden a texturas arcillosas, y las más grandes a texturas arenosas (PPIC, 1998).

En la Tabla 8.1 se observa que los suelos de las ANF están representados en su mayoría por texturas franco arenosas (moderadamente gruesas), con un contenido de arena por encima del 50 %, seguido por los limos y en menor proporción las arcillas. Según Elorz (2003), las arenas facilitan el drenaje y la aireación; los limos tienen mayor capacidad de almacenamiento de agua que las arenas; y las arcillas por su carácter coloidal y elevada superficie específica, retienen cationes, aniones y agua.

**Tabla 7.1.** Distribución de las clases texturales dentro de las ANF

ANF	N.° de muestras	Clase textural	Distribución (%)
ANF Ccahuahuire	11	Franco arenosa	91,7
	1	Franca	8,3
ANF Huanacopampa	15	Franco arenosa	100
ANF Tambulla - Lahuani	20	Franco arenosa	95,2
	1	Arenosa	4,8

Las arenas son inertes desde el punto de vista químico, es decir carecen de propiedades coloidales y reserva de nutrientes (FAO, 2012); las propiedades químicas del suelo dependen de las arcillas y materia orgánica, así como de la capacidad que estos coloides tengan para controlar la acidez, aglutinar o liberar nutrientes y componentes nocivos (Rodríguez *et al.*, 2009). En los suelos de las ANF, parte de estas propiedades y funciones serán cubiertas por un porcentaje medio de arcillas que no supera el 17 % (suelos residuales, coluviales y coluvio aluviales); sin embargo, hay suelos con porcentajes de arcilla más bajos (1 %) que corresponden a materiales aluviales recientes (Tabla 7.2).

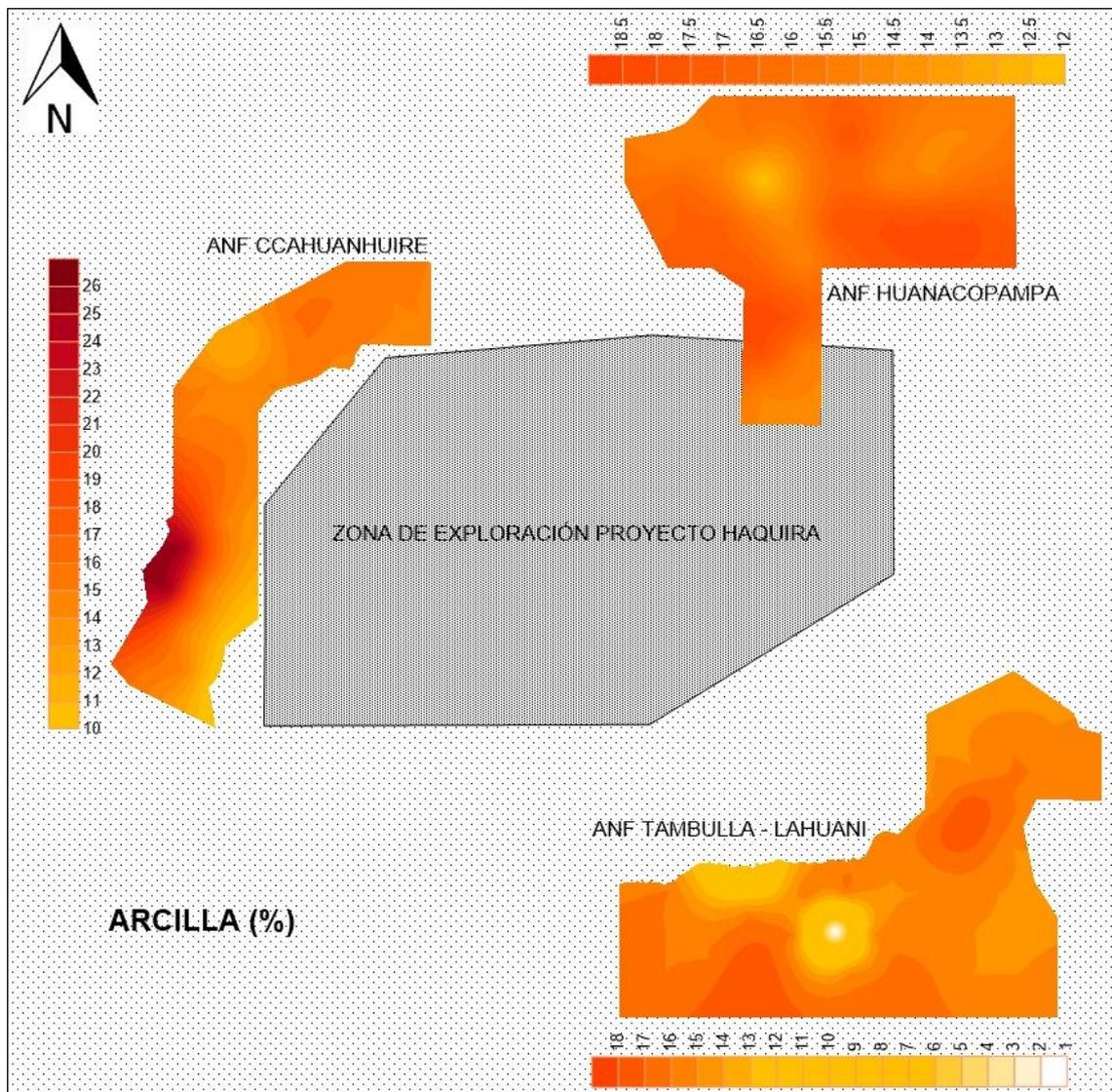
En la Figura 7.1 se muestra la distribución espacial de las arcillas dentro de las ANF y se puede distinguir las zonas con menores porcentajes de este coloide, en estos lugares los suelos presentan una clase textural arenosa (gruesa). Según Jordá *et al.* (2004) estos suelos arenosos no presentan retención o fijación de metales pesados, los cuales pueden terminar infiltrándose rápidamente a los horizontes subyacentes y contaminar aguas subterráneas; claro está, que esto podría darse si ocurriera algún evento de contaminación de suelos y que estos suelos presenten bajo nivel de materia orgánica.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**Tabla 7.2.** Estadísticos descriptivos para el porcentaje de arcilla en los suelos de las ANF

Estadísticos	ANF Ccahuahuire	ANF Huanacopampa	ANF Tambulla - Lahuari
N.º de muestras	12	15	21
Media	15,42	16,06	14,81
Mediana	15	16	16
Mínimo	10	12	1
Máximo	25	18	18
Desviación estándar	3,05	1,75	3,52
Coefficiente de variación	0,23	0,11	0,24
Percentil 90 %	16	18	16
Percentil 95 %	16	18	18
Percentil 99 %	16	18	18

Fuente: Anexos H, I, J.



**Figura 7.1.** Distribución del porcentaje de arcillas en el suelo de las ANF

La materia orgánica del suelo consiste en residuos vegetales y animales a varios niveles de descomposición (FAO, 2009). Desde el punto de vista agronómico es esencial para la fertilidad y la buena producción; ya que se relaciona con la mayoría de los procesos que ocurren en el suelo y en especial con los niveles de carbono orgánico, se considera como

umbral 1 %, por debajo de este valor el funcionamiento del sistema suelo – cultivo podría quedar afectado (Rodríguez *et al.*, 2009).

Tomando en consideración lo mencionado en el párrafo anterior, sobre la Tabla 7.3, la Tabla 7.4 y la Figura 7.2, se puede indicar que la mayor parte de los suelos superficiales de las ANF presentaron contenidos favorables de carbono orgánico para la fertilidad del suelo y crecimiento de las plantas; ya que la cantidad de materia orgánica en estos suelos oscila entre 0,96 % y 6,30 % con una media superior a 2 % (carbono orgánico superior a 1%).

**Tabla 7.3.** Distribución del nivel de materia orgánica dentro de las ANF

ANF	N.º de muestras	Nivel de materia orgánica*	Carbono orgánico (%)**	Distribución (%)
ANF Ccahuanhuire	9	2,57 – 3,53 (Medio)	1,5 – 2,05	75
	3	4,04 – 6,30 (Alto)	2,34 – 3,65	25
ANF Huanacopampa	4	1,47 – 1,97 (Bajo)	0,85 – 1,14	26,7
	11	2,28 – 3,40 (Medio)	1,32 – 1,97	73,3
ANF Tambulla - Lahuani	8	0,96 – 1,94 (Bajo)	0,56 – 1,13	38,10
	12	2,14 – 3,21 (Medio)	1,24 – 1,86	57,14
	1	4,14 (Alto)	2,40	4,76

\* En base al D.S. N.º 017-2019-AG

\*\* Valor calculado (M.O / 1,724)

**Tabla 7.4.** Estadísticos descriptivos del porcentaje de materia orgánica en los suelos de las ANF

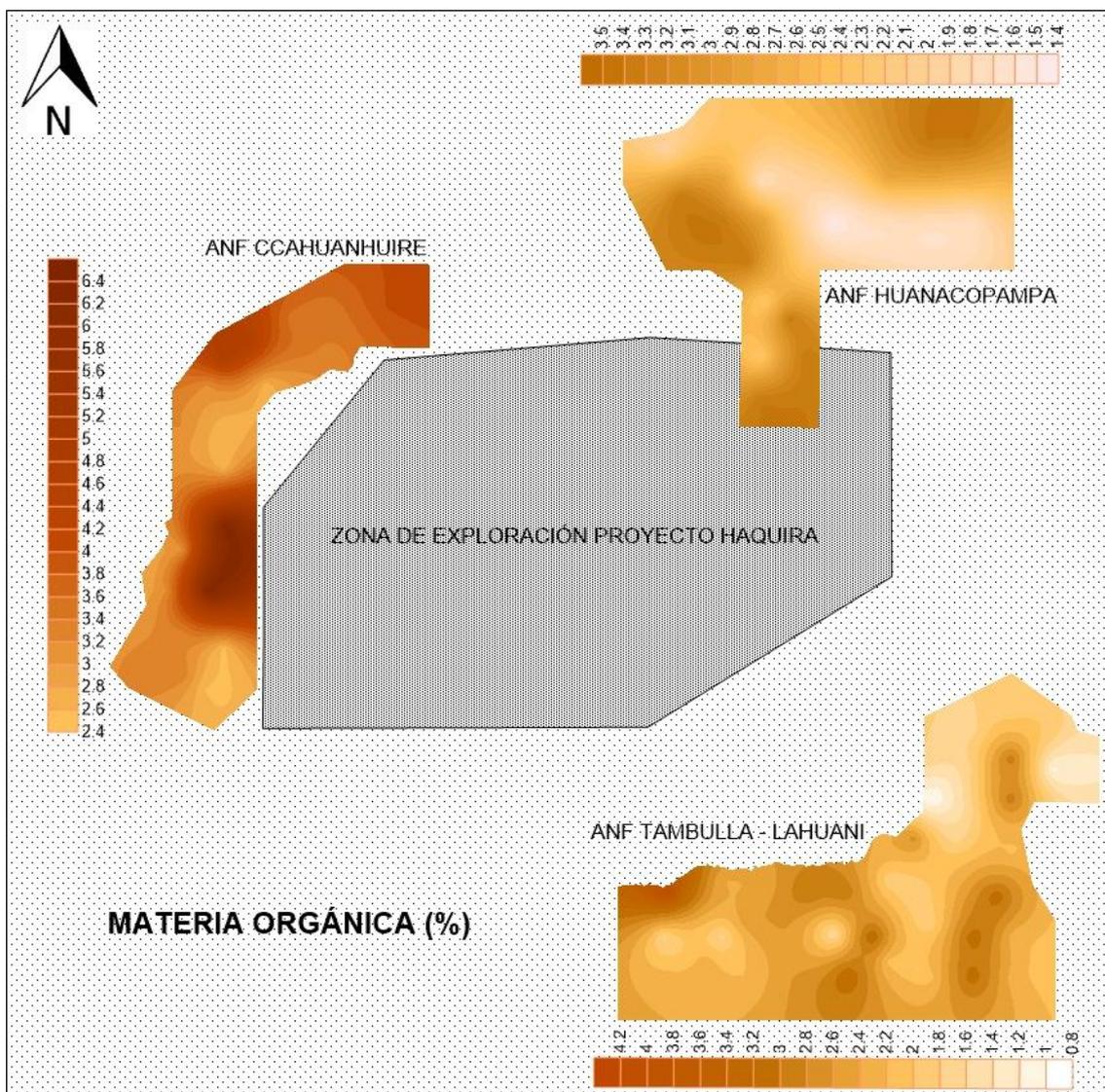
Estadísticos	ANF Ccahuanhuire	ANF Huanacopampa	ANF Tambulla - Lahuani
N.º de muestras	12	15	21
Media	3,58	2,56	2,28
Mediana	3,31	2,64	2,21
Mínimo	2,57	1,47	0,96
Máximo	6,3	3,4	4,14
Desviación estándar	1,04	0,64	0,74
Coefficiente de variación	0,29	0,25	0,32
Percentil 90 %	4,04	3,36	3,12
Percentil 95 %	4,68	3,38	3,21
Percentil 99 %	4,68	3,38	3,21

Fuente: Anexos H, I, J.

Los factores naturales como la textura y el clima condicionan en cierta medida la cantidad, calidad y distribución de la materia orgánica del suelo, de igual forma las prácticas agronómicas pueden alterar su contenido (Rodríguez *et al.*, 2009); podría deberse a ello que los niveles más bajos de materia orgánica se registraron en suelos aluviales con texturas gruesas y en suelos residuales poco profundos y erosionados. La mayoría de los suelos coluviales y coluvio aluviales dedicados al cultivo, bosque y pastoreo, presentaron niveles entre medios y altos de materia orgánica.

La materia orgánica tiene gran importancia en todos los procesos de adsorción del suelo (Duran, 2010); debido a ello, esta puede recubrir a los metales formando quelatos o estos pueden quedar adheridos a su superficie formando complejos de cambio (Larios, 2014). Por lo tanto la complejación y quelación son procesos de la materia orgánica que gobiernan la solubilidad y la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo (Duran, 2010). En la Figura 7.2, se puede observar la distribución espacial del contenido de materia orgánica en los suelos de las ANF, quedando bien definidas las zonas que podrían verse más afectadas de ocurrir algún evento que conlleve a la contaminación de suelos por metales pesados.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad



**Figura 7.2.** Distribución del porcentaje de materia orgánica en el suelo de las ANF

El pH determina el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, es el indicador principal de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influye en su solubilidad, movilidad y disponibilidad; del mismo modo influye en el comportamiento de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el perfil (FAO, 2009).

El rango óptimo para el crecimiento de la mayoría de los vegetales es de 6,0 a 7,0 unidades de pH debido a que la mayor parte de sustancias nutritivas que las plantas necesitan, están disponibles en este intervalo (Rodríguez *et al.*, 2009). En la Tabla 7.5, la Tabla 7.6 y Figura 7.4, se puede observar que los suelos de las ANF presentan valores de pH dentro de los rangos de la acidez, por lo que la producción de cultivos se limita a especies seleccionadas; además, estos suelos también podrían presentar limitaciones por clima y erosión.

**Tabla 7.5.** Distribución de la valoración de pH dentro de las ANF

ANF	N.º de muestras	pH*	Distribución (%)
ANF Ccahuahuire	1	6,26 (Ligeramente ácido)	8,3
	2	4,62 – 4,65 (Muy fuertemente ácido)	16,7
	9	4,36 – 4,85 (Extremadamente ácido)	75
ANF Huanacopampa	1	5,14 (Fuertemente ácido)	6,7
	11	4,68 – 4,92 (Muy fuertemente ácido)	73,3

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

ANF	N.º de muestras	pH*	Distribución (%)
	3	4,28 – 4,57 (Extremadamente ácido)	20
ANF Tambulla - Lahuani	3	5,14 – 5,20 (Fuertemente ácido)	14,3
	17	4,66 – 5,05 (Muy fuertemente ácido)	80,9
	1	4,45 (Extremadamente ácido)	4,8

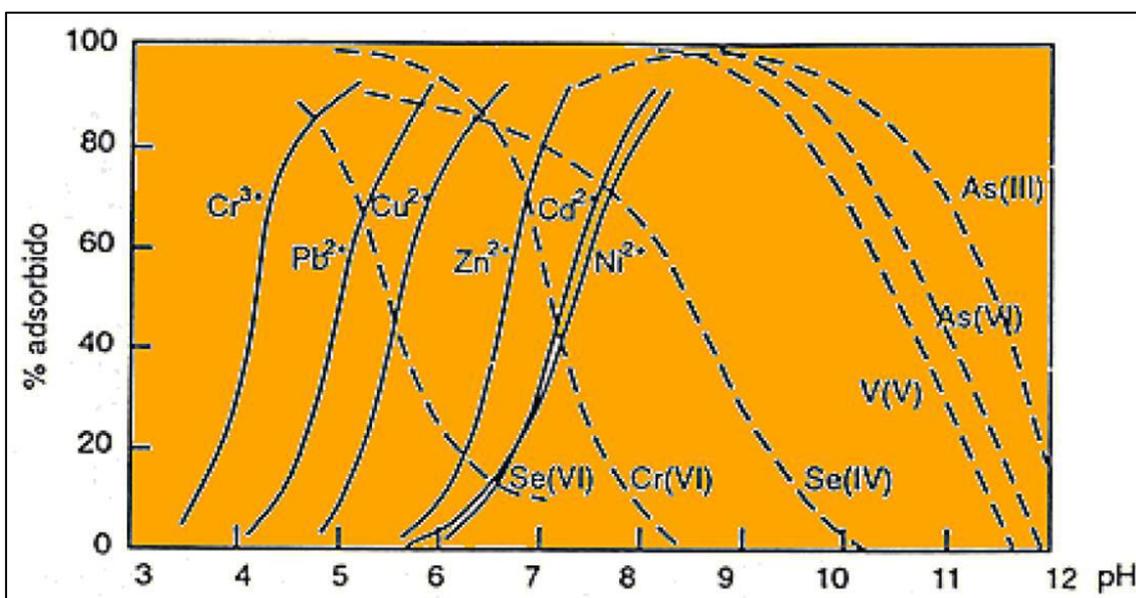
\* En base al D.S. N.º 017-2019-AG

**Tabla 7.6.** Estadísticos descriptivos de los valores de pH en los suelos de las ANF

Estadísticos	ANF Ccahuahuire	ANF Huanacopampa	ANF Tambulla - Lahuani
N.º de muestras	12	15	21
Media	4,67	4,77	4,87
Mediana	4,55	4,8	4,88
Mínimo	4,36	4,25	4,45
Máximo	6,26	5,14	5,2
Desviación estándar	0,50	0,20	0,18
Coefficiente de variación	0,10	0,04	0,04
Percentil 90 %	4,62	4,92	5,14
Percentil 95 %	4,65	4,92	5,18
Percentil 99 %	4,65	4,92	5,18

Fuente: Anexos H, I, J.

La adsorción y solubilidad de metales pesados también son fuertemente condicionadas por el pH del suelo, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto el arsénico, molibdeno, selenio y cromo, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino (Rodríguez *et al.*, 2009). Esto debido a que en el complejo coloidal de los suelos con pH básico existe mayor adsorción de metales pesados que en el complejo coloidal de suelos con pH ácido (Naidu *et al.*, 1994). En la Figura 7.3 tomada de Manziane y Merrill (1989) se muestra lo mencionado anteriormente.



**Figura 7.3.** Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales y oxianiones metálicos sobre hidróxidos de hierro amorfo

Nota: Diagrama tomado de Manziane y Merrill (1989)

En la Figura 7.4, se puede observar la distribución espacial de los valores de pH en los suelos de las ANF, los cuales tienen una condición ácida; por lo que tomando en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior y lo esquematizado en la Figura 7.3, se puede inferir que de ocurrir algún evento que conlleve a la contaminación de suelos por metales pesados en estas áreas, la mayoría de estos elementos tendría mayor movilidad y disponibilidad,

logrando afectar con mayor eficacia al entorno (plantas, animales, suelo subsuperficial, aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.).

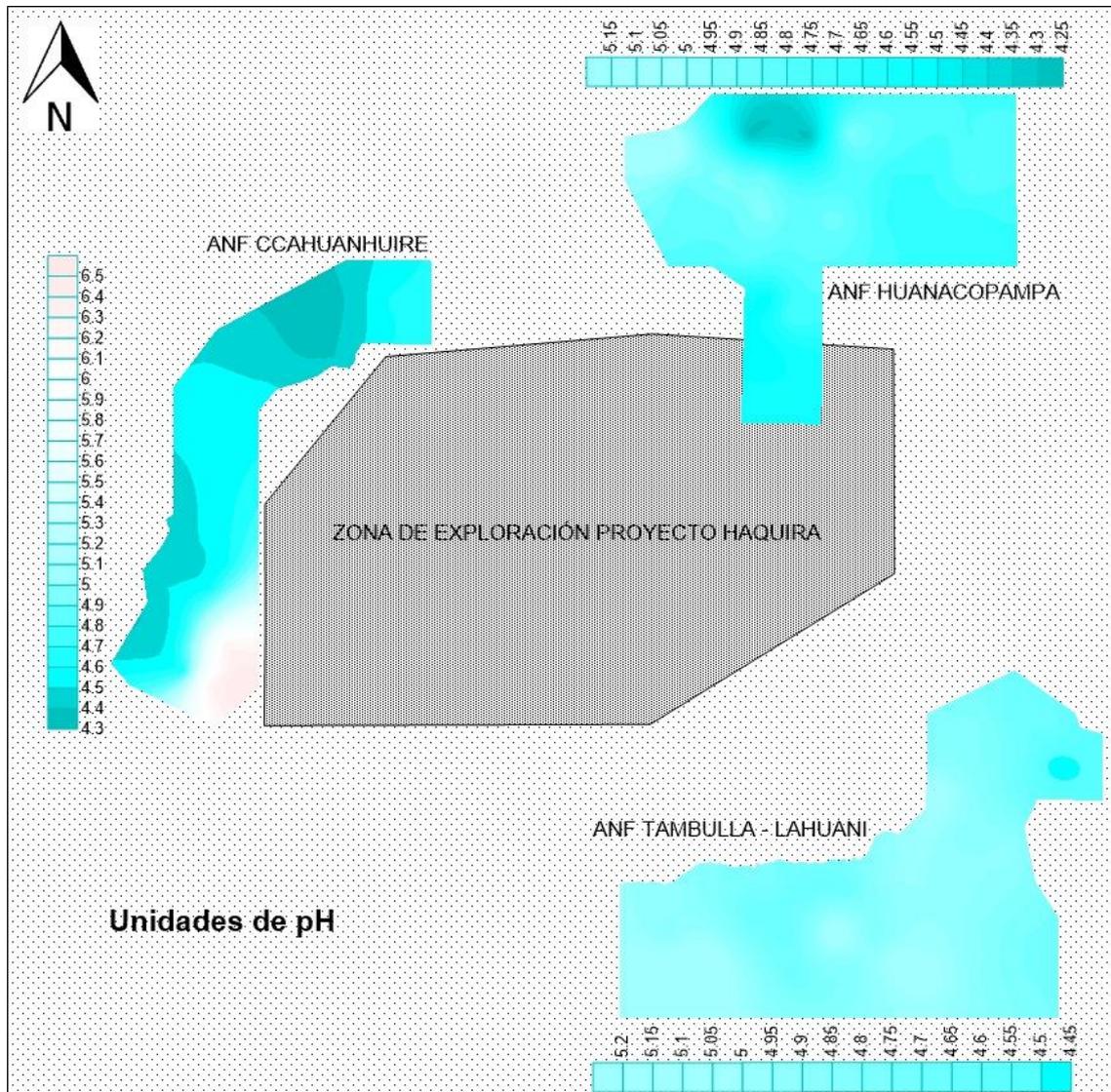


Figura 7.4. Distribución de los valores de pH en el suelo de las ANF

## 7.2. Metales pesados

En estudios medioambientales se definen como metales pesados a todos aquellos elementos metálicos o metaloides que aparecen comúnmente asociados a problemas de contaminación, algunos de ellos son esenciales en pequeñas cantidades (Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni, Mo) pero se vuelven nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas; otros no cumplen ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como es el caso de cadmio, mercurio o plomo (Jiménez et al., 2017).

Se debe de tener en cuenta que la contaminación según su origen puede ser geogénica o antropogénica, la primera puede proceder de la roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o lixiviado de mineralizaciones, la segunda, por el contrario, se produce debido a los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, y de los residuos sólidos urbanos (Galán y Romero, 2008). En la presente discusión abordaremos la presencia geogénica de metales como arsénico, cadmio, plomo, cobre,

molibdeno y zinc en los suelos de las ANF Ccahuanhuire, Huanacopampa y Tambulla - Lahuani.

El arsénico y el molibdeno son metales pesados que en cantidades traza son necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos, por lo que son considerados oligoelementos, pero que pasando cierto umbral se vuelven tóxicos (Sánchez, 2003). Para suelos de uso agrícola el Minan (2017) considera un valor de 50 mg/kg como estándar para el arsénico, y la guía canadiense considera un valor estándar de 63 mg/kg para molibdeno; de estos 2 estándares solo el ECA para arsénico fue superado en el ANF Ccahuanhuire y en esta misma área el molibdeno presentó su máxima concentración (37,2 mg/kg) sin superar a la guía canadiense; aun así, en la mayoría de las parcelas las concentraciones de molibdeno fueron menores al límite de cuantificación, por lo que no fue posible la determinación de los niveles de fondo y de referencia (Tabla 7.7).

En todas las parcelas de las ANF Huanacopampa y Tambulla - Lahuani se presentaron valores menores al límite de cuantificación para molibdeno y en la mayoría para el arsénico, tampoco fue posible el cálculo de los valores de nivel de fondo y referencia para estas áreas.

El cobre es un metal considerado como oligoelemento esencial para plantas y animales (Jiménez *et al.*, 2017), está presente en todas las rocas, principalmente en intrusivas básicas e intermedias (Larios, 2014). El contenido de este metal en la litosfera es de 70 mg/kg (Rodríguez *et al.*, 2009); sin embargo, este contenido es ampliamente superado por los valores de nivel de fondo y de referencia en el ANF Ccahuanhuire, superando incluso a la guía canadiense cuyo valor es 63 mg/kg; este valor también fue superado por el nivel de referencia para este metal en el ANF Huanacopampa (Tabla 7.7).

El plomo es un metal para el cual no se ha definido ninguna función biológica conocida, no es esencial para los organismos y en principio es carente de acciones benéficas para plantas y animales (Rodríguez *et al.*, 2009). Jiménez *et al.* (2017) indica que es un elemento de origen natural y está presente en la corteza terrestre en una concentración que oscila entre 10 mg/kg a 30 mg/kg. Sin embargo, los valores de nivel de referencia determinados para los suelos de las ANF Ccahuanhuire (75,62 mg/kg) y Tambulla – Lahuani (85,9 mg/kg) se encontraron por encima de este rango, superando al ECA para suelo de uso agrícola (Tabla 7.7).

El cadmio no tiene función biológica conocida, siendo altamente tóxico para plantas y animales (Alloway, 1995), está ampliamente distribuido en la naturaleza asociado a distintos minerales (Sánchez, 2016). Según Osorio *et al.* (1997) la concentración media en la corteza terrestre es de 0,1 mg/kg; En la Tabla 7.7 se puede observar que este valor fue ampliamente superado por la concentración máxima de cadmio (10,5 mg/kg) encontrada en el ANF Tambulla – Lahuani, superando también el ECA para suelo de uso agrícola (1,4 mg/kg). Los valores de nivel de fondo y de referencia para cadmio no fueron determinados, debido a que en la mayoría de las parcelas las concentraciones de este metal fueron menores al límite de cuantificación (1 mg/kg).

El zinc es un elemento esencial, beneficioso en pequeñas concentraciones para plantas, animales y el hombre (Rodríguez *et al.*, 2009), su contenido en suelos sin alteraciones depende de la naturaleza del material parental (Kabata-Pendias, A., y Pendias, H., 1992c; citados por Solano, 2005). Según Lindsay (1972), las concentraciones de zinc en suelos no contaminados se encuentran en un rango de 10 mg/kg – 300 mg/kg; sin embargo, en los suelos del ANF Tambulla – Lahuani la concentración máxima de este metal fue de 820,7 mg/kg y su nivel de referencia de 402 mg/kg, encontrándose ambos valores fuera del rango indicado anteriormente y superando referencialmente a la guía canadiense de uso agrícola

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

(Tabla 7.7). Es necesario indicar que el nivel de fondo (158,6 mg/kg) no supera al estándar referencial y se encuentra dentro del rango de zinc para suelos no contaminados.

**Tabla 7.7.** Valores de distribución de metales pesados por ANF

ANF	Parámetro	N.º de muestras	Mediana	Media	mínimo	máximo	Desviación estándar	Nivel de fondo	Nivel de referencia	ECA / Guía canadiense**
ANF-C	Arsénico	23	32	46,03	17,8	144,7	34,6	63,35	138,9	<b>50</b>
	Molibdeno	23	ND	ND	< 3	37,2	ND	ND	ND	<b>5**</b>
	Cobre	23	57,1	73,41	23	231,7	53,36	95,98	227,8	<b>63**</b>
	Plomo	18*	22,4	28,63	5	71,5	19,16	36,75	75,72	<b>70</b>
	Cadmio	23	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<b>1,4</b>
	Zinc	23	49,9	53,28	30,6	107,7	17,66	59,61	94,4	<b>250**</b>
ANF-H	Arsénico	28	ND	ND	< 17,8	25,5	ND	ND	ND	<b>50</b>
	Molibdeno	28	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	<b>5**</b>
	Cobre	24*	35,45	36,11	16	62,2	12,27	40,41	64,45	<b>63**</b>
	Plomo	28	12,4	14,66	5	33	10,41	18,3	38,04	<b>70</b>
	Cadmio	28	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	<b>1,4</b>
	Zinc	28	49,05	45,74	12,5	62,1	11,84	49,55	72,33	<b>250**</b>
ANF-TL	Arsénico	39	ND	ND	< 17,8	43,5	ND	ND	ND	<b>50</b>
	Molibdeno	39	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	<b>5**</b>
	Cobre	36*	25,5	26,34	11,5	48,4	8,185	28,64	43,92	<b>63**</b>
	Plomo	39	20,3	25,06	5	84,9	20,62	31,15	85,9	<b>70</b>
	Cadmio	39	ND	ND	< 1,0	10,5	ND	ND	ND	<b>1,4</b>
	Zinc	39	93,1	134,8	28,2	820,7	133,9	158,6	402	<b>250**</b>

\* La población muestral presentó valores censurados o anómalos, para mayor detalle ver Anexos H, I, J.

ND: No determinado, más del 70 % de los datos se encuentran por debajo del límite de cuantificación.

< el 100 % de los datos se encuentran por debajo del límite de cuantificación.

\*\* Estándares referenciales de la guía canadiense para suelos de uso agrícola.

Observando la Tabla 7.7 y los mapas de distribución de arsénico, molibdeno, cobre, plomo, cadmio y zinc en las ANF (Figura 7.5) nos podemos dar cuenta que existen zonas de mayor concentración y al compararlos con los estándares ambientales, se podría inferir que se trata de una contaminación antropogénica; sin embargo, se debe tener en cuenta el origen litológico de estos suelos (material parental), los cuales provienen de un material relacionado a las concesiones mineras Haquira 3 y 5 (ANF-CC.), Haquira 2 y 4 (ANF-H) y Haquira 8 (ANF-TL), pertenecientes al titular «Minera Antares Perú S.A.C.»<sup>6</sup> (Figura 7.6).

También hay que indicar que se trata de áreas no intervenidas por actividades mineras (plataformas de perforación, accesos, etc.) ubicadas dentro del área de influencia del proyecto de exploración Haquira, estas tierras actualmente son dedicadas al pastoreo, cultivo de subsistencia o viviendas rústicas; por lo que según la R. M. N.º 085-2014-MINAM, estas áreas son aptas para la determinación de niveles de fondo de potenciales contaminantes que podrían ser generados por la actividad objeto de análisis durante sus procesos de exploración, explotación o cierre.

Los mapas de distribución de arsénico, molibdeno y cobre en las ANF (Figura 7.5) nos indican que las concentraciones de estos metales presentan un incremento en la zona sur del ANF-Ccahuahuire; asimismo el cobre se incrementa en la zona sur del ANF Huanacopampa. Esto se sustenta precisamente porque en las partes altas de estas zonas se concentran las mineralizaciones de las concesiones mineras Haquira 2, Haquira 3, Haquira 4 y Haquira 5, que forman parte del proyecto Haquira (Figura 7.6), que es un depósito de tipo pórfido de cobre y molibdeno<sup>7</sup>. La presencia de arsénico obedece a que este es un constituyente natural de los minerales de cobre (Solano, 2005).

Las concentraciones de plomo, cadmio y zinc presentan un comportamiento similar, incrementándose en la zona sur oeste del ANF Tambulla – Lahuani; este comportamiento

<sup>6</sup> Resumen del derecho minero emitido por el INGEMMET el lunes 4 de noviembre de 2019.

<sup>7</sup> Proyecto GE 33 «Metalogenia y geología económica por regiones»: Memoria sobre la geología económica de la región Apurímac, preparado por el INGEMMET. <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/> el día 04/11/2019



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

se debería según Adriano (2001) a que el plomo se acumula con el zinc y cadmio en depósitos minerales. Asimismo, Sánchez (2016) indica que es habitual que el cadmio sea un constituyente de los compuestos de zinc, pero también se lo puede encontrar en minerales de plomo y cobre. Esta teoría se ve reforzada debido a que en la zona se encuentra la concesión minera Haquira 8 (Figura 7.6), emplazada dentro de la «Franja XV de pórfidos-skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusiones del Eoceno-Oligoceno»<sup>8</sup> y esta zona podría estar dentro de la mineralización de Haquira 8.

Finalmente hay que indicar que las ANF están constituidas por suelos naturales. Según Jiménez *et al.* (2017) los suelos con esta denominación se han formado por procesos que actúan a través de miles de años y han logrado de alguna forma un equilibrio en su entorno; es por ello que, al observar los mapas de distribución de metales y parámetros edáficos de las ANF, se podría decir que hay un equilibrio, ya que se observa cierta relación entre los contenidos de arcillas, materia orgánica, valores de pH y concentraciones de metales. Se debe tener en cuenta que esta relación se puede romper si estos suelos sufren alteraciones antrópicas.

<sup>8</sup> Proyecto GE 33 «Metalogenia y geología económica por regiones»: Memoria sobre la geología económica de la región Apurímac, preparado por el Ingemmet. Rescatado de <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/> el día 04/11/2019

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

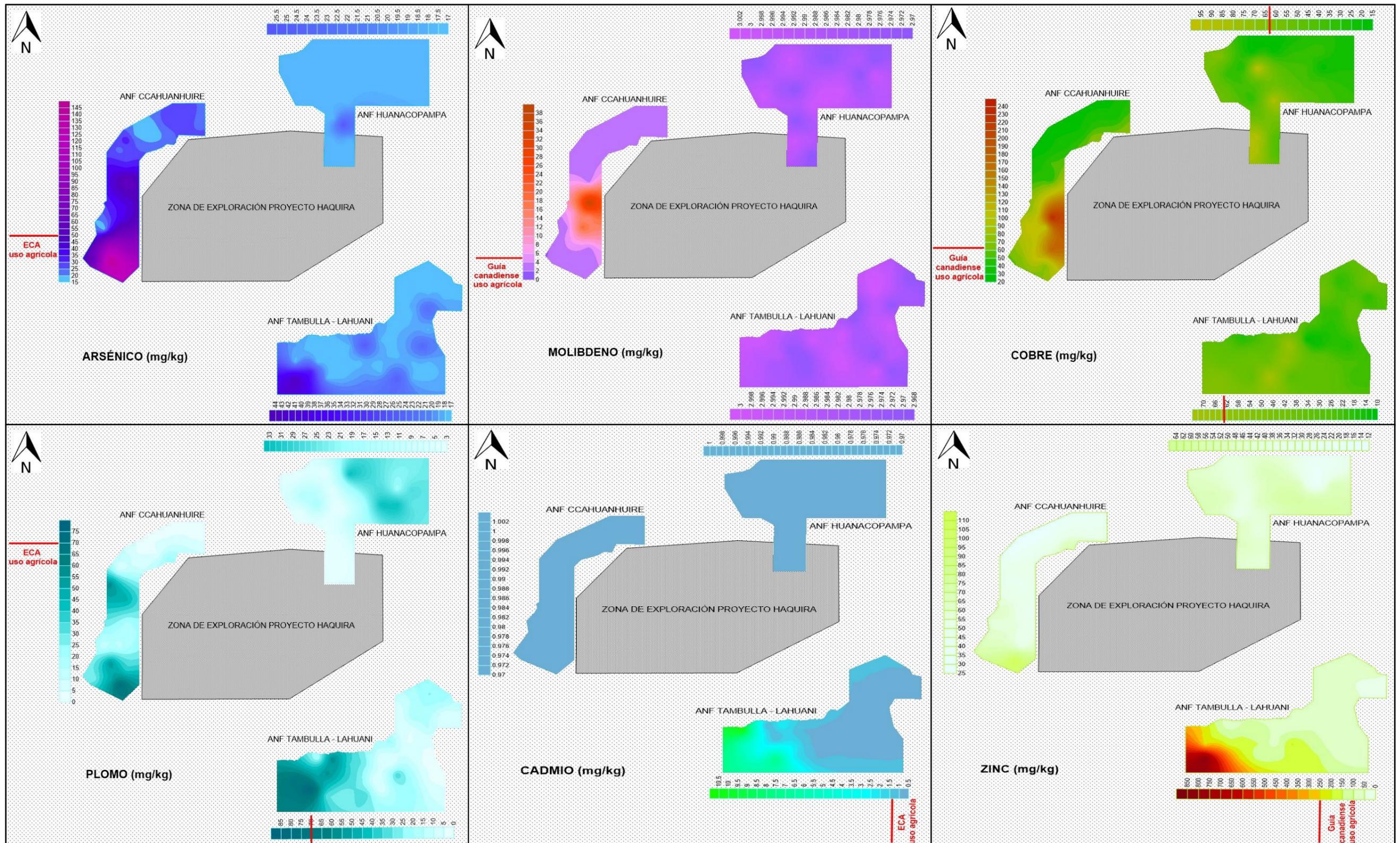


Figura 7.5. Distribución de las concentraciones de arsénico, molibdeno, cobre, plomo, cadmio y zinc (mg/kg) en el suelo de las ANF Ccahuahuire, Huanacopampa y Tambulla - Lahuani

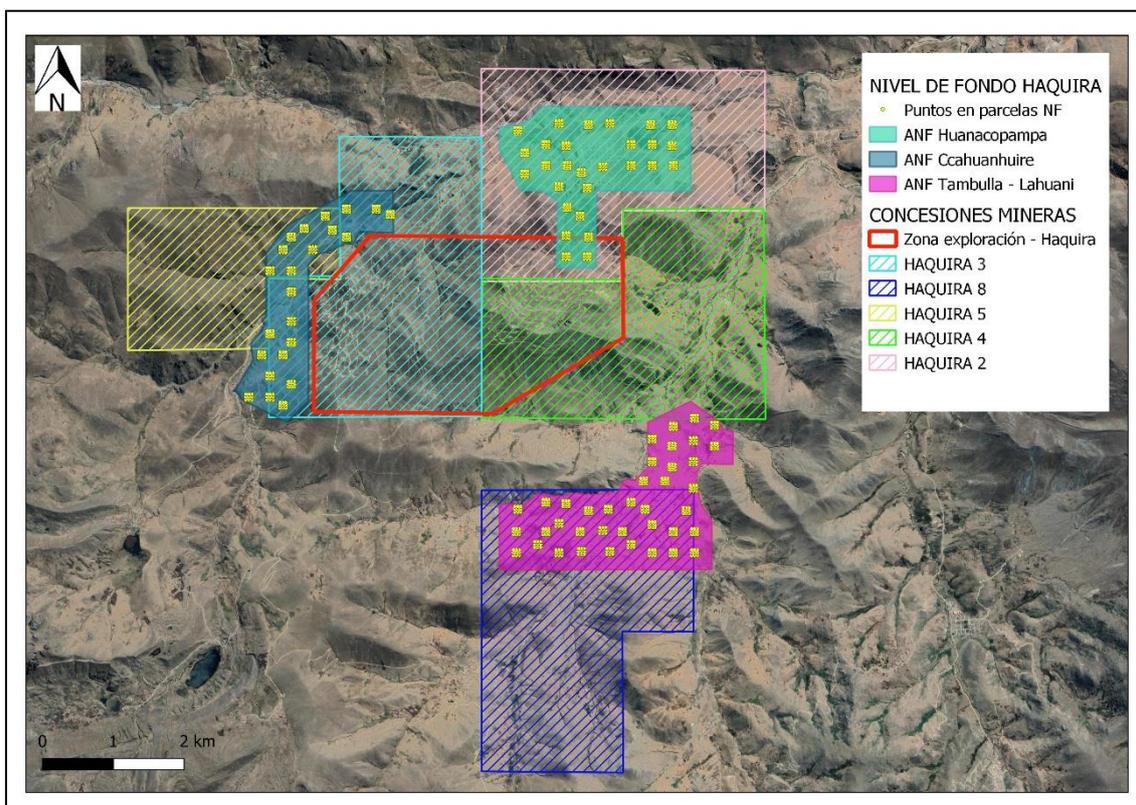


Figura 7.6. Ubicación de las áreas de niveles de fondo con respecto a concesiones mineras

## 8. CONCLUSIONES

Las concentraciones de metales pesados en general son bajas al ser comparadas con los estándares de calidad ambiental para suelos de uso agrícola y/o la guía canadiense; salvo excepciones donde las mayores concentraciones que superan a los estándares mencionados se deben a condiciones naturales.

Los niveles de fondo y de referencia para arsénico y cobre en el ANF Ccahuanhuire fueron superiores al estándar de calidad ambiental para suelos de uso agrícola y a la guía canadiense respectivamente. El nivel de referencia para cobre en el ANF Huanacopampa y para zinc en el ANF Tambulla – Lahuani superaron el valor de la guía canadiense. Además, el nivel de referencia para plomo superó al estándar de calidad ambiental para suelos de uso agrícola en las ANF Ccahuanhuire y Tambulla – Lahuani. La superación de estos metales se debe a las mineralizaciones presentes en las partes altas de las zonas donde se ubican las áreas de nivel de fondo.

Los niveles de fondo y de referencia para metales como cadmio, mercurio, molibdeno, plata, níquel, berilio y aluminio no pudieron ser determinados, debido a que, en las 3 áreas de nivel de fondo más del 70 % de los datos se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio; caso similar se registró con las concentraciones de arsénico en las ANF Huanacopampa y Tambulla - Lahuani. El cadmio y el molibdeno registraron concentraciones puntuales que superaron al estándar de calidad ambiental para suelos de uso agrícola y la guía canadiense respectivamente, estos incrementos son debidos a las condiciones naturales del material parental a partir del cual se formó el suelo.

Los suelos de las áreas de nivel de fondo en su gran mayoría son de tipo mineral, formados a partir de material parental residual y transportado que presentan texturas moderadamente

gruesas, con contenidos medios a altos de materia orgánica y valores de pH que se encontraron dentro de los rangos de extremadamente ácido a ligeramente ácido. Se podría decir que estos suelos han logrado un equilibrio entre parámetros edáficos y metales, a través de los miles de años de su formación; sin embargo, este equilibrio se puede romper si estos suelos sufren alteraciones antrópicas.

## 9. REFERENCIAS

Adriano, D. C. 2001. Lead. En: Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition. Springer-Verlag. New York. 867 pp.

Alloway, B. J. 1995a. Cadmium. En: Heavy Metals in Soils. Ed. Alloway B. J. Blackie Academic and Professional Publ. New York. 368 pp.

Durán, P. (2010). Transferencia de metales de suelo a plantas en áreas mineras: Ejemplos de los Andes Peruanos y la Cordillera Prelitoral Catalana (Tesis doctoral, Universitat de Barcelona). Recuperada de: <http://hdl.handle.net/10803/970>.

Elorz, L. (2003). Transformación de secano a regadío de la parcela de Mendigorria polígono 6, parcela 199 (Tesis Universidad Pública de Navarra). España.

Galán, O. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (MACLA). 10 (1), 48-60.

Guerrero. 1998. Interpretación de Análisis de Suelos y recomendaciones. Universidad Nacional Agraria la Molina – UNALM. Lima – Perú.

Jiménez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Madrid: Mundi -Prensa.

Jordá, J.; Juárez, M.; Sánchez, J. y Sánchez, A. (2004). Diagnóstico del potencial nutritivo del suelo. Publicaciones de la Universidad de Alicante. 86.

Larios, M. (2014). Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del río Turia (Tesis máster, Universitat de Lleida). Recuperado de: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/141280/1/Tesis-Larios.pdf>

Lindsay, W. L. 1972. Adv. Agron. 24, p. 147.

Manzione, M. y Merrill, D. (1989). Trace metal removal by iron coprecipitation: Field evaluation: Final report (No. EPRI-GS-6438). Electric Power Research Inst., Palo Alto, CA (USA); Brown and Caldwell, Pleasant Hill, CA (USA).

Ministerio del Ambiente (Minam). (2017). ECA para aire aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.

Naidu, R.; Bolan, N.; Kookana R. y Tiller, K. (1994). Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the Surface charge of soils. En. J. Soil Sci. 45, 419429.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). Guía para la descripción de suelos, Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo: Metodología de Cálculo. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. México. 53p.



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Osorio Saldívar, L.; Tovar Tovar, A.; Fortoul van der Goes, T. (1997). En: Albert Palacios, Lilia América. Introducción a la toxicología ambiental. Capítulo 13 p. 211-26. Metepec; ECO; 1997.

Porta, J.; López - Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa, 960pp. Madrid.

PPIC. 1998. Manual de Fertilidad de los Suelos. Potash y Phosphate Institute of Canada. Georgia. 85p.

Rodríguez, J. A.; M. López y J. M. Grau (2009). Metales Pesados, Materia Orgánica y otros Parámetros de los Suelos Agrícolas y Pastos de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España.

Sánchez, M. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia (Tesis doctoral, Universidad de Valladolid). Recuperado de: <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmck07d6>

Sánchez, G. (2016). Ecotoxicología del cadmio: Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio (trabajo de fin de grado). Universidad Complutense.

Solano, A. (2005). Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc (Tesis doctoral). Universidad de Murcia.

## 10. ANEXOS

Anexo A: Resultados del muestreo de nivel de fondo

Anexo B: Mapa de ubicación y puntos de muestreo

Anexo C: Puntos de muestreo de nivel de fondo

Anexo D: Ficha fotográfica

Anexo E: Datos de campo

Anexo F: Cadenas de custodia

Anexo G: Informes de ensayo de laboratorio

Anexo H: Gráficas estadísticas Ccahuanhuire

Anexo I: Gráficas estadísticas Ccahuanhuire

Anexo J: Gráficas estadísticas Tambulla - Lahuani

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

[LFAJARDO]

[LANCCO]



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección  
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**[JFERNANDEZC]**

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

**[DRAMOS]**



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 02824751"



02824751