

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**



**“IDENTIFICACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA  
EN CAYLLOMA, AREQUIPA REFERENTE A ESTUDIOS  
GEOQUÍMICOS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL”**

Presentada por:

**Geraldine Farfán Paredes**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“IDENTIFICACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA EN  
CAYLLOMA, AREQUIPA REFERENTE A ESTUDIOS GEOQUÍMICOS Y  
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL”**

Presentada por:

**Geraldine Farfán Paredes**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Ph. D. Lizardo Visitación Figueroa  
PRESIDENTE

---

Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes  
MIEMBRO

---

Mg. Quím. Elsa Huamán Paredes  
MIEMBRO

---

Mg. Sc. Julio Cesar Nazario Ríos  
ASESOR

*Con todo mi amor para mi papá, porque a pesar de toda la falta que me has hecho, tu presencia y los recuerdos de ti siempre me han acompañado en cada etapa de mi vida y han guiado continuamente mis pasos.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mamá Hilda, agradecer todo el amor, dedicación y el esfuerzo que desde siempre ha entregado por mí, apoyándome en cada etapa de mi vida para lograr ser la persona que soy. Te amo.

A mi querido padrino Manuel, a quien también puedo nombrar papá, porque con su amor, sus consejos y su apoyo ha sostenido, empujado y guiado mis pasos.

A cada miembro de mi familia, por su apoyo, comprensión y paciencia en la elaboración de esta investigación.

A mi querida alma mater la Universidad Nacional Agraria La Molina, por los mejores años de mi vida, por las grandes personas y profesionales que conocí dentro y fuera de sus aulas, quienes con sus experiencias aportaron en mi formación como persona y profesional.

A mi asesor de Tesis, Mg. Sc. Julio Cesar Nazario Ríos por su constante apoyo en la elaboración de la tesis, gracias por la paciencia, por su continua orientación y sus valiosas sugerencias.

Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que en algún momento de esta investigación me dieron un consejo o una palabra de aliento.

Mil gracias a todos.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. GENERALIDADES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. SUELO.....	3
2.2. CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	3
2.2.1. METALES PESADOS .....	4
2.2.2. MOVILIDAD DE METALES PESADOS .....	5
2.3. TIPOS DE SUELOS EN AREQUIPA .....	7
2.4. EXPLOTACIONES MINERAS.....	7
2.4.1. MINERÍA EN AREQUIPA .....	8
2.5. RESIDUOS DE MINA COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN .....	9
2.6. MARCO LEGAL.....	10
2.6.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ .....	10
2.6.2. LEY GENERAL DEL AMBIENTE - LEY N° 28611 Y SUS RESPECTIVAS MODIFICATORIAS MEDIANTE D.L. N° 1055. ....	11
2.6.3. APRUEBAN REGLAMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS- D.S. N° 013-2010-AG. ....	11
2.6.4. REGLAMENTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES MINERO METALÚRGICAS – D.S. N° 016-93-EM. ....	11
2.6.5. APRUEBAN ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO, MEDIANTE D.S. N° 002-2013-MINAM.....	12
2.6.6. APRUEBAN DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA APLICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO. DECRETO SUPREMO N°002-2014-MINAM .....	13
2.6.7. APRUEBAN LA GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS Y LA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 085-2014-MINAM.....	13

2.6.8.	DICTAN REGLAS PARA LA PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL INFORME DE IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS. DECRETO SUPREMO N°013-2015-MINAM .....	14
2.6.9.	ACTUALIZAN MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO. R.M. N° 137-2016-MINAM.....	14
2.6.10.	GUÍAS INTERNACIONALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS .....	14
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.2.	MATERIALES .....	15
3.3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	15
3.3.1.	EVALUACIÓN PRELIMINAR.....	15
a.	Investigación Histórica .....	16
b.	Levantamiento Técnico del Sitio.....	16
c.	Modelo Conceptual Inicial .....	17
3.3.2.	PLAN DE MUESTREO .....	17
a.	Muestreo de Identificación .....	17
a.1.	Determinación De Puntos De Muestreo .....	18
b.	Muestreo de Nivel de Fondo .....	18
3.4.	MÉTODO DE MUESTREO DE LA VARIABLE.....	19
3.4.1.	TIPOS DE MUESTREO .....	19
a.	Muestras Superficiales.....	19
3.4.2.	MANEJO DE LAS MUESTRAS.....	20
a.	Materiales para Guardar y Transportar Muestras .....	20
b.	Etiquetado.....	21
c.	Ficha de Muestreo .....	21
d.	Cadena De Custodia .....	21
3.5.	ANÁLISIS DE DATOS.....	21
3.5.1.	CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS DE LA CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (SOQI-CCME) .....	21
3.5.2.	CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS .....	23
3.5.3.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	24

3.5.4.	ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN .....	25
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
4.1.	ÁREA DE ESTUDIO .....	26
4.2.	INVESTIGACIÓN HISTÓRICA .....	27
4.2.1.	USOS DEL SUELO ACTUAL E HISTÓRICO .....	27
a.	Tipos de Suelo .....	27
b.	Uso Actual de la Tierra.....	29
b.1.	Terrenos Urbanos e Instituciones Públicas y Privadas - Uso Minero (1-Um).....	29
b.2.	Terrenos Con Praderas Naturales - Pajonal De Puna (6-Pp) .....	30
b.3.	Terrenos Húmedos - Vegetación Hidromórfica (8-Vh).....	30
b.4.	Terrenos Sin Uso Y/O Improductivos .....	30
c.	Uso Histórico.....	31
4.2.2.	MAPA DE PROCESOS .....	38
a.	Perforación y Voladura.....	38
b.	Relleno.....	39
c.	Disposición de Desmontes.....	39
d.	Plantas de Procesos y Beneficios .....	39
4.2.3.	CUADRO DE MATERIA PRIMA PRODUCTOS RESIDUOS.....	39
4.2.4.	SITIOS DE DISPOSICIÓN Y DESCARGA .....	40
a.	Depósitos de Desmonte .....	40
b.	Depósito de Relaves .....	40
4.2.5.	CARACTERÍSTICAS GENERALES NATURALES DEL PREDIO .....	41
a.	Características Geológicas.....	41
b.	Características Hidrogeológicas .....	41
b.1.	Nivel freático .....	42
b.2.	Acuíferos.....	42
c.	Características Hidrológicas .....	42
c.1.	Ríos .....	43
c.2.	Quebradas .....	43
c.3.	Lagunas .....	43
c.4.	Aguas subterráneas .....	44
d.	Características Topográficas .....	45
e.	Datos Climáticos .....	45

e.1.	Precipitación .....	45
e.2.	Temperatura .....	46
e.3.	Dirección y Velocidad del Viento .....	47
f.	Cobertura Vegetal.....	48
f.1.	Pajonal .....	48
f.2.	Bofedal.....	49
f.3.	Roquedal .....	50
4.3.	FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN .....	51
4.4.	LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO.....	52
4.4.1.	ÁREA DE ESTUDIO 1 .....	52
4.4.2.	ÁREA DE ESTUDIO 2.....	52
4.4.3.	PRIORIZACIÓN Y VALIDACIÓN .....	52
4.5.	CARACTERÍSTICAS DEL USO FUTURO .....	54
4.5.1.	TERRENOS RECUPERADOS CON VEGETACIÓN (TRCV) .....	54
4.5.2.	TERRENOS RECUPERADOS SIN VEGETACIÓN (TRSV) .....	54
4.6.	MODELO CONCEPTUAL INICIAL .....	54
4.6.1.	VEGETACIÓN CIRCUNDANTE.....	56
4.6.2.	CURSOS DE AGUA.....	56
4.7.	FUENTES EN EL ENTORNO.....	57
4.7.1.	FUENTES NATURALES.....	57
4.7.2.	FUENTES ANTROPOLÓGICAS .....	57
4.8.	PLAN DE MUESTREO .....	57
4.8.1.	DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE INTERÉS DEL MUESTREO ..	57
4.8.2.	PLANEACIÓN Y PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO.....	58
a.	Tipo de Muestreo.....	58
b.	Localización, Distribución y Puntos de Muestreo.....	58
c.	Profundidad del Muestreo .....	60
d.	Tipo de Muestras .....	61
e.	Estimación del Número Total de Muestras .....	61
f.	Parámetros de Campo .....	61
g.	Equipos de Muestreo de Suelos.....	62
g.1.	Herramientas:.....	62
g.2.	Materiales.....	63
g.3.	Equipos .....	63

h.	Medidas para Asegurar el Muestreo de Suelos .....	63
i.	Preservación de Las Muestras .....	64
j.	Tipo de Recipientes y Volumen de las Muestras .....	64
k.	Plan de Salud y Seguridad del Operario.....	64
l.	Plan de Cadena de custodia .....	65
4.9.	RESULTADOS DEL MUESTREO .....	66
4.9.1.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO .....	66
4.9.2.	RESULTADOS DEL MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN Y NIVELES DE FONDO.....	67
a.	Arsénico Total .....	69
4.10.	ANÁLISIS DE DATOS .....	73
4.10.1.	CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS DE LA CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (SOQI-CCME) .....	73
4.10.2.	CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS.....	74
4.10.3.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	79
a.	Análisis de Componentes Principales del Área de Estudio 1 .....	80
b.	Análisis de Componentes Principales del Área de Estudio 2.....	82
c.	Análisis de Componentes Principales del Niveles de Fondo .....	83
4.10.4.	ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN .....	86
4.11.	DISCUSIÓN.....	88
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	90
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	92
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	93
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comportamiento de los contaminantes en el aire, agua y suelo.....	3
Tabla 2: Unidades mineras – Arequipa .....	8
Tabla 3: Estándares de calidad ambiental para suelo .....	12
Tabla 4: Profundidad del Muestreo según uso de suelos.....	19
Tabla 5: Lista de Sistemas para la Toma de Muestras Sólidas.....	19
Tabla 6: Recipientes, Temperatura y Tiempo de Conservación.....	20
Tabla 7: Las clases del valor Igeo .....	25
Tabla 8: Coordenadas de la Cuenca alta del Rio Santiago .....	26
Tabla 9: Coordenadas de las áreas de estudio .....	26
Tabla 10: Clasificación Natural de los Suelos.....	28
Tabla 11: Unidades cartográficas de las unidades de suelos y/o áreas misceláneas .....	28
Tabla 12: Categorías y subclases de uso actual de la tierra.....	29
Tabla 13: Resumen de información sobre los procesos productivos generales .....	40
Tabla 14: Coordenadas de los depósitos de desmonte .....	40
Tabla 15: Coordenadas del depósito de relaves .....	41
Tabla 16: Columna Estratigráfica.....	41
Tabla 17: Sistemas Hidrogeológicos .....	42
Tabla 18: Fases por pendiente .....	45
Tabla 19: Estaciones con registro de Precipitación Total Mensual.....	46
Tabla 20: Precipitación Total Mensual Promedio de las Microcuencas .....	46
Tabla 21: Estaciones con registro de Temperatura Media Anual.....	47
Tabla 22: Temperatura Media Mensual – Microcuencas .....	47
Tabla 23: Análisis de los Posibles Focos de Contaminación .....	51
Tabla 24: Escala de Evidencia.....	52
Tabla 25: Caracterización y ponderación de focos potenciales.....	53
Tabla 26: Categorías y subclases de uso futuro del suelo .....	54
Tabla 27: Ubicación de Áreas de Potencial Interés.....	57
Tabla 28: Puntos de Muestreo de Identificación .....	58
Tabla 29: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2010.....	58
Tabla 30: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2013.....	59
Tabla 31: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2014 - 2015 .....	59
Tabla 32: Número de Puntos de Monitoreo por cada API .....	61

Tabla 33: Parámetros de Ensayo de las Estaciones de Muestreo de Nivel de Fondo .....	62
Tabla 34: Parámetros de Ensayo de las Estaciones de Muestreo de Identificación .....	62
Tabla 35: Colección y Preservación de Muestras.....	64
Tabla 36: Referencias de los Métodos de Ensayo .....	66
Tabla 37: Tabla de Resultados – Muestras de identificación vs Nivel de Fondo.....	67
Tabla 38: Índices de Calidad Ambiental de Suelo - SoQI.....	74
Tabla 39: Matriz de correlaciones (Spearman) – Área de estudio 1 .....	75
Tabla 40: Matriz de correlaciones (Spearman) – Área de estudio 2 .....	76
Tabla 41: Matriz de correlaciones (Spearman) – Niveles de Fondo .....	77
Tabla 42: Resumen de las Correlaciones de los Metales de Interés .....	79
Tabla 43: Valores Propios – Área de estudio 1 .....	80
Tabla 44: Correlaciones entre las variables y los factores – Área de estudio 1 .....	81
Tabla 45: Valores Propios – Área de estudio 2 .....	82
Tabla 46: Correlaciones entre las variables y los factores – Área de estudio 2 .....	83
Tabla 47: Valores Propios – Nivel de Fondo .....	84
Tabla 48: Valores Propios – Nivel de Fondo (continuación) .....	84
Tabla 49: Correlaciones entre las variables y los factores – Nivel de Fondo.....	85
Tabla 50: Leyenda de colores para el Índice de Geoacumulación .....	86
Tabla 51: Índice de Geoacumulación por zonas de muestreo .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama formación de una presa de relaves .....	10
Figura 2: Provincia de Caylloma y Distrito del mismo nombre.....	27
Figura 3: Relación con el sitio y las actividades .....	32
Figura 4: Actividades que han desarrollado históricamente.....	32
Figura 5: Conocimiento de la población sobre sucursales .....	33
Figura 6: Propietario del sitio .....	33
Figura 7: Otras localidades .....	34
Figura 8: Edificaciones construidas.....	34
Figura 9: Accidentes o eventos.....	34
Figura 10: Control de accidentes .....	35
Figura 11: Daños al medio ambiente.....	35
Figura 12: Residuos líquidos o relaves.....	36
Figura 13: Residuos sólidos.....	36
Figura 14: Medidas de control.....	36
Figura 15: Inundaciones .....	37
Figura 16: Quejas sobre actividades .....	37
Figura 17: Rosa de viento de la Estación Caylloma.....	48
Figura 18: Pajonal de Puna.....	49
Figura 19: Bofedal .....	49
Figura 20: Roquedal .....	50
Figura 21: Modelo Conceptual Inicial.....	55
Figura 22: Comparación áreas de identificación y nivel de fondo 2014 - 2015.....	60
Figura 23: Cadena de Custodia.....	65
Figura 24: Concentración Arsénico Total – Área de estudio 1 .....	70
Figura 25: Concentración Arsénico Total – Área de estudio 2 .....	72
Figura 26: Circulo de correlaciones – Área de estudio 1 .....	80
Figura 27: Circulo de correlaciones – Área de estudio 2 .....	82
Figura 28: Circulo de correlaciones – Nivel de Fondo.....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01: Ficha de Levantamiento Técnico.....	98
ANEXO 02: Ficha de Muestreo de Suelos .....	100
ANEXO 03: Resultados de los Análisis .....	117
ANEXO 04: Pruebas de Normalidad.....	119
ANEXO 05: Análisis Estadísticos – SoQI.....	121
ANEXO 06: Índice de Geoacumulación.....	125
ANEXO 07: Planos.....	126

## **RESUMEN**

Las actividades mineras son consideradas como una de las actividades humanas que generan los más fuertes impactos al ambiente, uno de los componentes ambientales que toma gran importancia en estas actividades es el componente suelo, no obstante, por mucho tiempo se ha prescindido de normativa nacional que fiscalice estos efectos contaminantes al suelo, en respuesta a ello en el año 2013 se promulga el D. S. N° 002-2013-MINAM para la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo y en consecuencia se publican mediante R. M. N° 085-2014-MINAM las Guías para Muestreo de Suelos, y Guías para la Elaboración de los Planes de Descontaminación. El presente estudio busca identificar suelo contaminado por minería mediante la aplicación de la metodología descrita en las guías mencionadas y mediante otros estudios geoquímicos complementarios. El lugar de estudio escogido fue la provincia de Caylloma en el departamento de Arequipa por ser una zona altamente minera.

Para ello se determinaron dos áreas de estudio, en cada una se identificaron Áreas de Potencial Interés (API), se realizaron muestreos de identificación dentro de estas API y muestreos de nivel de fondo en zonas similares (similares aspectos geológicos, geográficos, cobertura vegetal, tipos de suelo) pero sin la influencia de actividades mineras. En primer lugar se compararon los resultados con los ECA para suelo, en donde se obtuvo que el Arsénico se encontraba superando el estándar, seguidamente se procedió a comparar los resultados con los niveles de fondo, de lo cual se observó que los valores registrados eran similares, dando la conclusión que las altas concentraciones de Arsénico en los suelos de la zona tenían un origen natural.

Complementariamente se procedió a cuantificar los Soil Quality Index (Índices de calidad de suelo) para determinar la calidad ambiental espacial, de lo cual se obtuvo que las áreas de estudio y los niveles de fondo presentaban índices de calidad similares, por lo que la calidad ambiental del suelo no se veía afectada. Asimismo se realizaron análisis de correlación mediante una matriz de Spearman, de lo que se observó que el número de correlaciones existentes en las áreas de estudio eran superiores a las encontradas en los niveles de fondo. Posteriormente se utilizaron estas matrices para realizar un Análisis de Componentes

Principales (ACP) del cual se observaron que en las áreas de estudio existían factores que tenían alta correlación positiva con los metales asociados a la minería por lo que el origen de estos metales podría ser las actividades mineras circundantes.

Finalmente se realizó un análisis de Índice de Geoacumulación (Igeo) en las áreas de estudio y en los niveles de fondo, de lo cual se obtuvo que el Arsénico en todos los casos tenía un índice similar, lo cual confirma la aseveración que el origen del Arsénico es natural, adicionalmente se obtuvo que en el área de estudio 1, los metales Cadmio, Plata y Zinc se encontraban más geoacumulados en comparación a los niveles de fondo, lo que evidenciaría un grado de perturbación.

Como conclusión final se determinó que los sitios analizados en el área de estudio 1 presentan perturbaciones por parte de las actividades mineras, no obstante en términos de calidad ambiental de suelos no se registra un daño considerable que afecte la calidad total del suelo.

**Palabras claves:** Suelo, Contaminación, Áreas de Potencial Interés, Arsénico, Estándares de Calidad Ambiental, Niveles de Fondo, Análisis de Componentes Principales, SoQI, Índice de Geoacumulación, Caylloma, Arequipa.

## **ABSTRACT**

The mining activities are considered to those of the human activities that generate the strongest impacts to the environment, one of the environmental components that takes the great importance in these activities is the soil component, however, for a long time the National legislation that controls these polluting effects on the soil has been dispensed, in response to this, in 2013, the D. S. N° 002 -2013-MINAM was promulgated for the approval of the Environmental Quality Standards (ECA) for the soil and, consequently, was published the Guidelines for Sampling Soils, and Guidelines for the Elaboration of Decontamination Plans through R. M. N° 085-2014 -MINAM. The present study seeks to identify soil contaminated by mining by applying the methodology described in this guides and through other complementary geochemical studies. The place of study chosen was the province of Caylloma in the department of Arequipa for being a highly mining area.

For this purpose, two study areas were determined, in each of them were identify Areas of Potential Interest (API) identification samples were taken in these APIs and samples of the background level were taken in similar areas (geological aspects, geographical aspects, coverage vegetable, soil types) but without the influence of mining activities. Firstly, the results was compared with the ECA for the soil, where it was obtained that the Arsenic is exceeding the standard, then the results was compared with the background levels, concluding that the high levels of arsenic in the soils of the area had a natural origin.

Complementarily, it proceeded to quantify Soil Quality Index to determine the environmental quality of the space, from which it was obtained that the study areas and the background levels presented similar quality indexes, so that the environmental quality of the soil was not affected. Also, a correlation analysis was carried out by a Spearman matrix, from which it is said that the number of correlations existing in the study areas was higher than those found in the background levels. Later, these matrices were used to perform a principal component analysis (ACP) from which it was observed that in the study areas existing factors that had a high positive correlation with the metals associated with mining, so the origin of these metals could be the surrounding mining activities

Finally, an analysis of the Geoaccumulation Index (Igeo) was carried out in the study areas and in the background levels, from which it was obtained, that the Arsenic in all cases, it had a similar index, which confirms the assertion that the origin of arsenic is natural, additionally, in the study area 1, the metals Cadmium, Silver and Zinc were found to be more geoaccumulated compared to the background levels, which would show a degree of disturbance.

As a final conclusion it was determined that the sites analyzed in the study area 1 were disturbed by the mining activities, however, there is not in terms of environmental quality of soils there a significant damage that affects the total quality of the soil.

**Key words:** Soil, Contamination, Areas of Interest Potential, Arsenic, Environmental Quality Standards, Levels of Fund, Principal Component Analysis, SoQI, Geoaccumulation Index, Caylloma, Arequipa.

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. GENERALIDADES**

La minería ha estado presente desde tiempos antiguos en la historia del Perú, sin embargo con el transcurrir del tiempo y con el avance de la tecnología esta actividad ha ido generando cada vez más impactos al ambiente llegando a posicionarse como una de las actividades más significativas debido a la destrucción de los suelos.

Se puede considerar que el impacto más serio para el suelo se produce a consecuencia de la eliminación o modificación profunda de éste, puesto que se producen una serie de contaminantes que de una forma u otra terminan depositándose en el suelo. Esto puede suceder por depósito de partículas, por el vertido directo de los productos líquidos de la actividad minera y metalúrgica, por la infiltración de productos de lixiviación del entorno minero, o por la disposición de elementos mineros sobre el suelo como desmonteras u otras edificaciones contaminantes.

Según el portal del Ministerio de Energía y Minas, a nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, (oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros), por lo que la minería es uno de los pilares dentro la economía peruana, y su actividad seguirá desarrollándose por mucho tiempo. Por ello es importante implementar instrumentos que permitan regular esta actividad para poder llegar a un equilibrio de sostenibilidad, aprovechando la actividad económica y a su vez desarrollando tecnologías que eviten el daño ambiental y/o en el último de los casos remediar los impactos que se pudieran ocasionar.

Es en este sentido que el Ministerio del Ambiente en el año 2014 aprueba la R. M. 085-2014 – MINAM, documento que aprueba las guías de Muestreo de suelos y de Elaboración de Planes de Descontaminación, y mediante D. S. N° 013-2015-MINAM se da plazo hasta el 31 de diciembre de 2015 a todas las empresas, incluidas las del sector minero, que tengan actividades futuras o en curso para que presenten el informe de la Fase de Identificación de Sitios Contaminados.

En el caso particular de la región Arequipa, encontramos que es una zona donde la actividad minera es fuente de problemas sociales como lo demuestra la protesta ante el proyecto Tía María. Según el Ministerio de Energía y Minas, solo en la Provincia de Caylloma, que es una de las ocho que conforman el Departamento de Arequipa, existen diversas unidades mineras que vienen operando como la unidad minera Arcata, unidad operativa Ares, unidad de producción Suyckutambo, unidad minera Orcopampa, entre otras. Todas estas unidades se caracterizan por explotación de mineral en forma subterránea que a comparación de las técnicas de tajo abierto son menos contaminantes.

Los componentes comunes que se encuentran en las actividades mineras de labor subterránea comprenden bocaminas, depósitos de desmonte, depósito de relaves, planta de beneficio, talleres, además de diversas infraestructuras como campamentos, oficinas, instalaciones para manejo de residuos sólidos, pozos sépticos entre otros. Dentro de estos, las bocaminas y los depósitos de relaves y/o desmontes son los más críticos por su característica contaminante, puesto que pueden ser generadores de aguas ácidas o, para el caso de las desmonteras y relaveras, fuentes de emisión de partículas con carga de metales que migran a través del viento y tienden a depositarse luego en el suelo, en los cuerpos de agua y en la vegetación circundante.

## **1.2. OBJETIVOS**

El objetivo principal de la presente investigación fue:

- Identificar contaminación de suelos afectados por minería en la Provincia de Caylloma en base a estudios geoquímicos y estándares de calidad ambiental.

Los objetivos específicos de la presente investigación fueron:

- Comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos (D.S. N° 002-2013-MINAM).
- Evaluar la calidad ambiental espacial mediante la cuantificación del Índice de Calidad de Suelos de la *Canadian Council of Ministers of the Environment* (SoQI-CCME).
- Analizar los datos colectados mediante análisis de correlación.
- Analizar los datos colectados mediante análisis de componentes principales.
- Evaluar la calidad del suelo mediante los índices de geoacumulación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. SUELO

El término suelo involucra diferentes conceptos dependiendo de la rama desde donde se lo estudie, la definición de suelo aceptada por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo es la más acorde al presente estudio «Material mineral no consolidado sobre la superficie de la Tierra, que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas... y que ha estado sujeto e influenciado por factores genéticos y del medio ambiente que son: el material parental, el clima (incluyendo humedad y efectos de temperatura), organismos y topografía, actuando dentro de un periodo de tiempo y originando un producto, suelo, que difiere del material del cual se deriva en muchas propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas» (SSSA, 1984).

### 2.2. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El concepto de contaminación se puede definir como «la introducción o incremento anormal de sustancias que pueden ejercer un efecto dañino sobre los organismos en los ecosistemas» (Bautista, 1999).

La contaminación puede ser tanto de origen natural como de origen antrópico, sin embargo en el mayor de los casos está relacionado a la actividad del hombre. Si bien, como se observa en la Tabla 1, la contaminación del aire y del agua es la más preocupante debido a que en este medio existe una mayor movilidad y dispersión de los contaminantes, en el suelo el tiempo de residencia de estos contaminantes suele ser más alto y generalmente suele ser el punto de depósito de los contaminantes que provienen del agua y del aire (Bautista, 1999).

**Tabla 1: Comportamiento de los contaminantes en el aire, agua y suelo**

Elemento	Tiempo de Residencia	Uniformidad de Dispersión	Daño a Organismos
Aire	Bajo	Alta	Bajo a medio
Agua	Medio	Media	Alto
Suelo	alto	baja	Medio a alto

FUENTE: Moriarty, 1999

Es así que, la contaminación del suelo puede resumirse como una acumulación de sustancias tóxicas que al sobrepasar el poder de autodepuración de este, generan pérdida parcial o total de productividad (Dorado et al., 2007).

Como efectos negativos de la contaminación del suelo se tiene lo siguiente:

- Destrucción del poder de amortiguación por procesos biológicos naturales.
- Disminución del crecimiento de los microorganismos del suelo lo que aumenta la fragilidad del sistema
- Disminución del rendimiento de los cultivos que se desarrollen en el suelo, con riesgo a los consumidores por entrada de elementos extraños a la cadena trófica.
- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por procesos de filtración.

La contaminación del suelo puede ser del tipo local o puntual y difusa. La primera obedece a una relación directa con el contaminante, como se da en casos de minería, instalaciones industriales, vertederos y otras infraestructuras. La contaminación difusa se asocia con procesos que afectan a grandes áreas de terreno, como la depositación atmosférica, ciertas prácticas agrícolas y el inadecuado reciclaje de basuras y el transporte de sustancias contaminantes.

En la contaminación del suelo es importante considerar propiedades como la biodisponibilidad (posible asimilación por parte de los organismos), la movilidad (capacidad de transporte del contaminante a otros medios) y persistencia, y no guiarse exclusivamente de las concentraciones de contaminantes que se registren en el medio

### **2.2.1. METALES PESADOS**

Un metal pesado es aquel elemento que posee una densidad igual o superior a cinco  $\text{g/cm}^3$  cuando está en su forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos), En la corteza terrestre se lo encuentra en cantidades menores a 0,1 por ciento y casi siempre menor del 0,01 por ciento. Además de estos metales existen otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen incluir en este grupo por que presentan un origen y comportamiento asociado (García, I. y Dorronsoro, C., 2005).

Los metales pesados se pueden clasificar en dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes, son aquellos que necesitan las plantas y animales en pequeñas cantidades, o cantidades traza, para que completen su ciclo

vital. Se debe considerar que un exceso de estos elementos es tóxico. Dentro de este grupo están: B, Cu, Mo, Mn, Fe y Zn.

- Metales pesados sin función biológica conocida, son aquellos que en cierta cantidad resultan altamente tóxicos por originar problemas en el funcionamiento normal de los organismos, asimismo tienen la característica de acumularse en los organismos vivos. Son, entre otros: Co, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Bi, Sn, Se, Tl, etc.

«Estos elementos tienen su origen en el substrato litológico, apareciendo bien como elementos nativos o incorporados normalmente en las estructuras de sulfuros, silicatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos. Los aportes dominantes se producen por depositación atmosférica y afectan de forma significativa a los primeros centímetros de suelo». (Dorado et al., 2007). En conclusión, la presencia de metales pesados en el suelo, debería obedecer exclusivamente a las características de la roca madre del cual se ha formado el suelo y de algunos otros procesos naturales que hayan intervenido, no obstante, es innegable que la actividad humana ha incrementado las concentraciones de estos metales de forma alarmante. (García, I. y Dorronsoro, C., 2005). Es importante conocer si existe contaminación por metales pesados debido a que estos pueden ingresar a la cadena trófica en cuyo caso, considerando que los humanos se encuentran en el último eslabón de dicha cadena, se daría una importante afectación en la salud de las personas.

### **2.2.2. MOVILIDAD DE METALES PESADOS**

Debido a que los metales pesados pueden contaminar las aguas subterráneas y consecuentemente, afectar los cultivos y la salud humana, es importante conocer el destino de los metales pesados en los suelos contaminados.

«La movilidad de un metal depende no solo de su especiación química, sino de una serie de características del suelo donde se aloja como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc.» (Galán y Romero, 2008)

La movilización de los metales pesados depende de los siguientes factores (Sauquillo et al, 2003):

- Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, etc.
- Naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de depositación.

- Condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad, etc.

Dentro de las características del suelo se tienen (Galán y Romero, 2008):

- a. pH. La disponibilidad de la mayoría de los metales es mayor en ambientes con pH ácido, sin embargo pueden existir excepciones en algunos metales.
- b. Textura. Los suelos arcillosos retienen mayor cantidad de metales, mientras que los suelos de textura arenosa tiene poca o nula capacidad de retención por lo que es posible que se dé una contaminación de las aguas subterráneas.
- c. Mineralogía de arcillas. Las arcillas, al estar compuestas por diferentes tipos de minerales, poseen distintos valores de superficie específica, a mayor superficie hay una mayor adsorción de metales.
- d. Materia orgánica. Este aspecto es importante por la formación de quelatos, los cuales inmovilizan algunos metales. Sin embargo, también pueden formar complejos organometálicos que incrementarían la movilidad de los metales.
- e. Capacidad de cambio. El poder de intercambio catiónico depende, entre otros factores, del tipo de minerales de la arcilla. Según los tipos de minerales de arcilla, la retención varía, siendo mínima para el grupo de la caolinita, baja para las illitas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.
- f. Condiciones redox. Mediante el potencial de oxidación-reducción se puede conocer la estabilidad de los metales pesados.
- g. Carbonatos. Los carbonatos elevan los niveles de pH y en este medio los metales pesados suelen precipitar, asimismo, los carbonatos tienden a adsorber diversos metales como el Cd.
- h. Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Estos elementos poseen un pequeño tamaño de partícula, por ello tienen una alta capacidad sorcitiva para metales divalentes.
- i. Salinidad. La salinidad puede incrementar la movilización en el caso de algunos metales, y en otros aumentar su retención.

«En general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. Por eso la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece drásticamente en profundidad cuando la contaminación es antrópica» (Galán Romero, 2008).

### **2.3. TIPOS DE SUELOS EN AREQUIPA**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés FAO, ha clasificado los suelos en 31 unidades, con lo cual el ministerio de Agricultura ha elaborado un mapa del Perú clasificado en estas unidades asociadas donde la región de Arequipa, en su zona central (parte sierra) presenta suelos asociados del tipo Leptosol dístico – Andosol vitrico y Leptosol lítico – Afloramiento lítico. El Leptosol dístico y lítico tiene su equivalente en el sistema de Clasificación Taxonómica de Suelos (Soil Taxonomy, 2014) como Lithic Torriorthents, Lithic Ustorthents y Lithic Cryorthents; de igual forma el Andosol vitrico es equivalente a Typic Haplotorrands, Typic Haplustands y Typic Haplocryands.

Estas clasificaciones indican que los suelos de Arequipa tienen por características predominantes, abundantes afloramientos rocosos con suelos poco desarrollados, de espesores delgados que descansan sobre un contacto lítico, asimismo algunas zonas presentan suelos de color oscuro que indicarían abundante concentración de materia orgánica, estos suelos son formados a partir de rocas volcánicas y presentan en su composición concentraciones de vidrios volcánicos y otros minerales.

### **2.4. EXPLOTACIONES MINERAS**

La actividad minera es una de las actividades antrópicas que ocasionan los más grandes impactos ambientales, destruyen los suelos y dificultan la revegetación de estas zonas.

Entre los impactos más comunes podemos encontrar pérdida de la estructura del suelo, una disminución de la fracción arcilla a favor de fracciones más gruesas, acidificación asociada a los procesos de oxidación que favorece la movilización de especies químicas tóxicas, el retiro de los horizontes superficiales que son biológicamente activos, lo que ocasiona la alteración de los ciclos biogeoquímicos, y una disminución de la capacidad de cambio y de la retención de agua en el suelo como consecuencia de la escasez de materia orgánica y arcilla (Macías, 1996).

El Perú se ha convertido en país minero de primer orden, donde cerca del 62 por ciento del valor de las exportaciones nacionales pertenecen a este rubro. Asimismo, el Perú es considerado como primer productor latinoamericano de oro, zinc, estaño y plomo y tercer productor mundial de cobre y plata (Shinno, 2014).

## 2.4.1. MINERÍA EN AREQUIPA

La producción minera en Arequipa puede incrementarse en los próximos años con la puesta en marcha de nuevos proyectos que actualmente se encuentran en la fase exploratoria. Así, para posibilitar un desarrollo de la actividad minera y que esta actividad forme parte de la base para el desarrollo económico de la nación es necesario, no solo facilitar las inversiones mineras, sino asegurar mediante dispositivos legales, la protección del medio ambiente y de las comunidades que se encuentran en el área de influencia de dichos proyectos.

**Tabla 2: Unidades mineras – Arequipa**

CLASIFICACIÓN	TITULAR	PROYECTO	COORDENADAS EN GRADOS DECIMALES	
			LONGITUD	LATITUD
CARTERA DE PROYECTOS 2016	JINZHAO MINING PERU S.A.	PAMPA DE PONGO	-74.837185	-15.359912
CARTERA DE PROYECTOS 2016	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	TAMBOMAYO	-71.914662	-15.471180
CARTERA DE PROYECTOS 2016	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION SUCURSAL DEL PERU	TIA MARIA	-71.770694	-17.014408
CARTERA DE PROYECTOS 2016	MINERA AQM COPPER PERU S.A.C.	ZAFRANAL	-72.255325	-16.044281
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	WILD ACRE METALS (PERU) S.A.C.	CHAPARRA	-73.732935	-15.849113
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	QUESTDOR S.A.C.	LANA	-73.431860	-15.945617
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	TECK PERU S.A.	SONDOR	-73.617521	-15.532524
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	TORION MINING S.A.C	TORORUME UNO	-72.969240	-15.578581
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	VALETITA	-74.081861	-15.426566
PROYECTO EXPLORACIÓN II	PEMBROOK COPPER S.A.C.	PECOY	-72.993746	-15.652585
PROYECTO EXPLORACIÓN II	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	PUCAY	-72.380867	-15.305077
PROYECTO EXPLORACIÓN II	CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	ROMERILLO	-74.787685	-15.256885
CARTERA DE PROYECTOS 2016	JUNEFIELD GROUP S.A.	DON JAVIER	-71.453033	-16.622215
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	MINERA PAMPA DE YARAS S.A.C.	YARABAMBA	-71.500880	-16.625971
PROYECTO EXPLORACIÓN II	STILES DONALD LE ROY	YEBACHAS	-71.894679	-16.314985
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	JUNEFIELD GROUP S.A.	ACARI	-74.733639	-15.389768
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	GOLDEN IDEAL GOLD MINING S.A.C.	AREQUIPA 3	-72.142562	-16.922576
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	GOLDEN IDEAL GOLD MINING S.A.C.	ATICO	-73.311476	-16.168916
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	TECK PERU S.A.	MARCAHUI	-73.682807	-15.516259

Continuación

PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	CONDOR EXPLORATION PERU S.A.C.	SAN MARTIN	-72.277749	-15.317898
PROYECTO DE EXPLORACIÓN I	GOLDEN IDEAL GOLD MINING S.A.C.	YUQUIBAMBA	-72.971060	-16.404410
PROYECTO EXPLORACIÓN II	INVERSIONES MINERALES S.A.C.	OCAÑA	-73.004450	-15.672969
PROYECTO EXPLORACIÓN II	COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	PARIGUANAS	-72.189607	-15.148045

FUENTE: Proyectos del Ministerio de Energía y Minas (Sistema de Evaluación Ambiental SEAL), Cartera Estimada de Proyectos Mineros Marzo 2016, Sistema General de Minería (Autorizaciones de Exploración). Reservas - Consolidado según Declaración Anual Consolidada DAC 2014, US Geological Survey Report 2016. / Mapa de Principales Proyectos Mineros 2016 (<http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=528>)

En la Tabla 2 se muestra de manera referencial, los principales proyectos mineros de la región de Arequipa que en los últimos 5 años han presentado instrumentos ambientales (DIA, EIAsD e incluso EIA), para desarrollar actividades de exploración o desarrollo considerando los siguientes criterios:

- Proyectos en Cartera.- Incluye los principales proyectos en diversas etapas que han estimado inversión considerable en su desarrollo. Estos proyectos se incluyen en el documento “Cartera Estimada de Proyectos Mineros”, disponible en [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe).
- Proyectos en Fase Avanzada de Exploración.- Incluye los principales proyectos cuyas actividades requieren más de 20 plataformas de perforación, abarca más de 10 ha de extensión; y/o son mayores a 50 metros de profundidad en labores subterráneas, y que han presentado el Estudio Impacto Ambiental Semidetallado (EIAsd) para realizar actividades de exploración así como las autorizaciones que correspondan.
- Proyectos en Fase Temprana de Exploración.- Incluye los principales proyectos cuyas actividades requieren menos de 20 plataformas de perforación, abarca menos de 10 ha de extensión; y/o menos 50 metros de profundidad en labores subterráneas, y que han presentado la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para realizar actividades de exploración así como las autorizaciones que correspondan.

## 2.5. RESIDUOS DE MINA COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN

En la actividad minera, para tener acceso y explotar las menas de minerales que se localizan a grandes profundidades, se llevan a cabo grandes excavaciones por lo que se generan

grandes cantidades de material con muy poco mineral de interés o valor. Este material es llamado desmonte y tiene gran contenido de minerales sulfurados.

Los relaves son otro residuo producto de la actividad minera, constituido por un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros y concentración de minerales, mayormente están compuestos por una mezcla de suelo, mineral, agua y rocas. Los relaves contienen altas concentraciones de elementos que pueden alterar el medio ambiente sino se manejan correctamente, por lo que deben ser transportados y almacenados en depósitos de relaves especialmente diseñados para evitar filtraciones hacia el suelo y posteriormente a las aguas subterráneas.

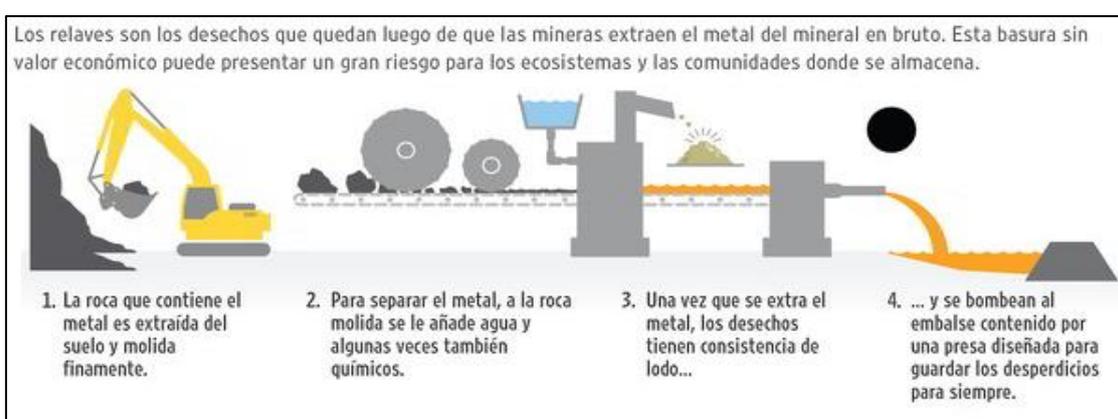


Figura 1: Diagrama formación de una presa de relaves

FUENTE: Imagen tomada de The Wall Street Journal, 2016

Desde un punto de vista ambiental, la preocupación primordial sobre los residuos y desperdicios de la minería es la migración de elementos tóxicos, contenidos en estos depósitos, a las capas del suelo. Asimismo, la geoquímica y la hidrología están estrechamente ligadas y son consideraciones importantes a tener en cuenta. (López, 2009).

## 2.6. MARCO LEGAL

La normativa Peruana en la cual se enmarca la presente tesis se describe a continuación:

### 2.6.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ

La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que: «Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida».

### **2.6.2. LEY GENERAL DEL AMBIENTE - LEY N° 28611 Y SUS RESPECTIVAS MODIFICATORIAS MEDIANTE D.L. N° 1055.**

Que en su Artículo 33.1º « La Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y LMP y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga, las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo ».

Que en su Artículo 91º «El Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes».

Que en su Artículo 113º «Son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental: a. Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente, identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten...».

### **2.6.3. APRUEBAN REGLAMENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LEVANTAMIENTO DE SUELOS- D.S. N° 013-2010-AG.**

El resultado del levantamiento de suelos es un mapa en el que se muestra la distribución geográfica o espacial de los diferentes suelos del área que se evalúa, acompañada por un reporte o memoria donde se define y clasifica de acuerdo al Sistema Soil Taxonomy, e interpreta las diferentes clases de suelo. Las interpretaciones predicen cómo responde y se comportan los suelos para los diferentes usos u cómo responden al manejo.

### **2.6.4. REGLAMENTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES MINERO METALÚRGICAS – D.S. N° 016-93-EM.**

Mediante esta norma se establece los procedimientos y pautas necesarias para que las actividades mineras se adecuen a las normas ambientales vigentes en el país y a las estipuladas por el Ministerio y establece los requisitos de operación y las pautas necesarias para que las nuevas operaciones mineras adopten medidas para el control y monitoreo de sus actividades, asegurando así una adecuada protección ambiental. Tiene su modificatoria a través del Decreto Supremo N° 059-93-EM.

Asimismo, considera expresamente la posibilidad de depositar relaves en el fondo de cuerpos lacustre o del mar, bajo condiciones técnicamente manejables, para los casos en los que la topografía no permite su disposición en superficie o cuando su disposición en superficie representa un mayor riesgo a la población o al ambiente (Art. 38°). Además, se establece la obligación de garantizar la estabilidad física y química del material depositado en la etapa de abandono (Art. 39°).

## **2.6.5. APRUEBAN ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO, MEDIANTE D.S. N° 002-2013-MINAM.**

Se aprobó el 24 de marzo de 2013 con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo, en cuyos niveles de concentración no deberán representar riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Este estándar es aplicable a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia. Véase los detalles en la Tabla 3:

**Tabla 3: Estándares de calidad ambiental para suelo**

N°	Parámetros	Usos de Suelo		
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial /Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos
<b>I</b>	<b>Orgánicos</b>			
1	Benceno (mg/kg MS)	0.03	0.03	0.03
2	Tolueno (mg/kg MS)	0.37	0.37	0.37
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0.082	0.082	0.082
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0.1	0.6	22
6	Fracción de Hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500
7	Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000
8	Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000
9	Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0.1	0.7	0.7
10	Bifenilospoliclorados (mg/kg MS)	0.5	1.3	33
11	Aldrín (mg/kg MS) <sup>(1)</sup>	2	4	10
12	Endrín (mg/kg MS) <sup>(1)</sup>	0.01	0.01	0.01

Continuación

13	DDT (mg/kg MS) <sup>(1)</sup>	0.7	0.7	12
14	Heptacloro (mg/kg MS) <sup>(1)</sup>	0.01	0.01	0.01
<b>II</b>	<b>Inorgánicos</b>			
15	Cianuro Libre (mg/kg MS)	0.9	0.9	8
16	Arsénico Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	50	50	140
17	Bario Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	750	500	2000
18	Cadmio Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	1.4	10	22
19	Cromo VI (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	0.4	0.4	1.4
20	Mercurio Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	6.6	6.6	24
21	Plomo Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	70	140	1200

MS: Materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40°C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10°C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada <2mm.

Nota 1: Plaguicidas regulados debido a su persistencia en el ambiente, en la actualidad está prohibido su uso, son contaminantes orgánicos persistentes (COP).

Nota 2: Concentración de metales totales

#### **2.6.6. APRUEBAN DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA APLICACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO. DECRETO SUPREMO N°002-2014-MINAM**

Se aprobó el 24 de marzo del 2014 con el objetivo de establecer disposiciones complementarias para la aplicación del decreto supremo N°002-2013-MINAM y el cumplimiento gradual de los estándares de calidad ambiental para suelo contenidos en dicha norma.

#### **2.6.7. APRUEBAN LA GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS Y LA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 085-2014-MINAM**

Se aprobó el 31 de marzo del 2014 con el objetivo de aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos, además establece que la presente resolución ministerial es de aplicación y cumplimiento obligatorio para los procesos de descontaminación de sitios contaminados, en trámite o por iniciarse, independientemente de su ámbito o ejecución.

**2.6.8. DICTAN REGLAS PARA LA PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL INFORME DE IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS. DECRETO SUPREMO N°013-2015-MINAM**

Decreta que La Autoridad Ambiental Competente admitirá a trámite hasta el 31 de diciembre de 2015 los Informes de Identificación de Sitios Contaminados a que hace referencia el Artículo 5° del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM, que aprueba disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

**2.6.9. ACTUALIZAN MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA SUELO. R.M. N° 137-2016-MINAM.**

Decreta actualizar los métodos de ensayo para el análisis de los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo, de acuerdo al anexo que forma parte integrante de la Resolución Ministerial N° 137-2016-MINAM.

**2.6.10. GUÍAS INTERNACIONALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**

En el ámbito internacional se han definido guías para la identificación de los sitios contaminados:

- Guías IHOBE: investigación de la contaminación de suelo
- Guías de la Comunidad de Madrid
- Guía técnica de aplicación del RD 9/2005.-
- Guías sobre suelos contaminados de CEPYME de Aragón.-
- Guía metodológica y técnica para la investigación la calidad de los suelos de Galicia.-
- Guía manual para la caracterización ambiental de sitios con apoyo de la evaluación del riesgo ambiental y salud humana. *CANADIAN COUNCIL OF MINISTER OF THE ENVIRONMENT (CCME).*-

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Tipo: Descriptivo

Diseño: No Experimental

#### **3.2. MATERIALES**

- Instrumentos ambientales: EIA San Cristóbal - Caylloma (R.D. N° 173-2011-MEM-AAM) y EIA Suyckutambo (R. D. N° 312-2010-MEM-AAM)
- D.S. 002-2013-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Suelo
- R.M. 085 -2014-MINAM que aprueba la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.
- Microsoft Office 2013
- Software Autocad 2014 – Español
- Software estadístico XLSTAT
- Software Soil Quality Index Calculator

#### **3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación tiene como finalidad determinar si un sitio está contaminado, es decir, si supera o no los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo o los niveles de fondo. Para ello, se utilizará la metodología descrita en la Resolución Ministerial N° 085-2014 – MINAM, la cual indica que se debe realizar una evaluación preliminar que comprende la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio, luego, con estos resultados determinar los alcances del plan de muestreo tanto de identificación como de nivel de fondo.

##### **3.3.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR**

Se realizará una investigación histórica del área de estudio y de las actividades que se desarrollan en dicho lugar para obtener evidencias de posible contaminación del suelo. Luego de que se tiene un conocimiento general sobre las actividades que se desarrollan en el entorno, y una vez agotadas las fuentes de información se hará el levantamiento técnico o inspección del sitio.

La finalidad de esta etapa es determinar:

- La evolución cronológica de los usos del suelo hasta el presente.
- Tipos y ubicación de las posibles fuentes de contaminación de suelo
- Eventos significativos ocurridos en el sitio, que pudieran haber provocado un impacto sobre el mismo.

#### **a. Investigación Histórica**

Se realizará una revisión de documentos como estudios técnicos ambientales abiertos al público, mapas, planos, fotografías aéreas o imágenes satelitales de alta definición de libre acceso, revistas o libros que brinden referencias históricas sobre la localidad y sus actividades productivas, registros de la actividad y producción industrial y agropecuaria, etc.

Luego se realizarán entrevistas y/o encuestas a personas calificadas de la zona, como personas vinculadas directamente a las actividades desarrolladas en el sitio, operarios de empresas cercanas, u otros referentes con amplios conocimientos de la localidad y su historia.

#### **b. Levantamiento Técnico del Sitio**

El objetivo de esta etapa es obtener información precisa que sirva de sustento para la planificación del muestreo de identificación; para la identificación de los usos actuales del sitio y del entorno; los receptores humanos, ambientales y ecológicos; y la identificación de los usos pasados.

Para la inspección se hará un recorrido del área de estudio, la memoria fotográfica durante el recorrido, el levantamiento topográfico de los límites del área de estudio, la localización de estructuras y construcciones, la identificación de todos los componentes, estructuras, instalaciones y obstáculos físicos que influyen en la localización de los puntos de muestreo, la descripción y localización de todas las áreas con antecedentes de manejo de sustancias potencialmente contaminantes, entre otros aspectos relevantes del sitio.

El levantamiento técnico del sitio cumple las funciones de confirmar y complementar la información ya recopilada, y recabar en la medida de lo posible la información faltante.

### **c. Modelo Conceptual Inicial**

Se realizará una descripción gráfica y/o esquemática de la relación entre la fuente de la contaminación y los receptores vulnerables potenciales que incluya:

- Fuente de los contaminantes críticos seleccionados.
- Receptores de la contaminación.
- Rutas de exposición (mecanismos de transporte).
- Vías de exposición.
- Posible migración de los contaminantes de un medio físico a otro.
- Factores que modifiquen el efecto de los contaminantes sobre los receptores.

### **3.3.2. PLAN DE MUESTREO**

El plan de muestreo se ajustará a lo indicado en la Guía para Muestreo de Suelo (R.M. 085-2014-MINAM) según el tipo correspondiente, si es muestreo de identificación o de nivel de fondo.

#### **a. Muestreo de Identificación**

Se realizará a través de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo. El alcance de los parámetros y del área a muestrear estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio, así como la hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual que orientan el diseño del muestreo de identificación.

Los resultados de las muestras tomadas serán comparados inicialmente con los ECA suelo. Si los valores detectados en el suelo superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado.

Se seguirán los siguientes pasos para elaborar el Plan de Muestreo:

- Se determinará el Área de Potencial Interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio.
- Se analizarán los contaminantes que sean sustancias químicas de interés generadas por las actividades que se desarrollan o se desarrollaron en el sitio de estudio.

- Se optará primero por un muestreo dirigido o a juicio de experto puesto que se cuenta con suficiente información previa del sitio para determinar las zonas con componentes mineros con potencial de contaminación al suelo.
- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar.
- Para puntos de muestreo con profundidad igual o menor de tres metros, todas las muestras tomadas serán analizadas.

#### **a.1. Determinación De Puntos De Muestreo**

El número y ubicación de los puntos de muestreo de identificación se estimó en base a la variabilidad de los tipos suelos, los usos actuales y de la cobertura vegetal que existe en la zona en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas, institución que representa la autoridad competente del sector y que ha sido debidamente capacitada y autorizada por el Ministerio del Ambiente en la evaluación de los Informes de Identificación de Sitios Contaminados.

#### **b. Muestreo de Nivel de Fondo**

En el caso del muestreo de nivel de fondo, se considerará como punto de muestreo un área fuera de la zona de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes.

Se obtendrán sub-muestras representativas para la conformación de una muestra compuesta. Para este tipo de muestreo se considerará un mínimo de tres puntos de muestreo en áreas diferentes pero con características similares al área de estudio.

Asimismo se incluirán resultados de análisis de calidad de suelos naturales realizados en septiembre del 2010, como parte del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD A 1500 TMD aprobado mediante R.D. N° 173-2011-MEM/AAM donde se tomaron muestras de suelos antes de la construcción de los componentes (Depósito de Relaves).

De igual manera, se incluirán los resultados obtenidos del muestreo de suelo zonas vírgenes aledañas al área de operaciones que se realizó agosto del 2013, como parte del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración "Acumulación Caylloma 1, 2 y 3 - Etapa B" aprobado mediante R.D. N°004-2014-MEM/AAM

### 3.4. MÉTODO DE MUESTREO DE LA VARIABLE

#### 3.4.1. TIPOS DE MUESTREO

##### a. Muestras Superficiales

Debido a que los principales parámetros de interés, por tratarse de una zona de actividad minera, son los metales pesados y puesto que estos elementos tienden a acumularse en las capas superficiales del suelo, se realizará un muestreo superficial.

Para la toma de muestras superficiales se aplicará el sistema de calicatas, ver la Tabla 5. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo.

Cuando se tengan grandes volúmenes de muestras se someterán a partición, para reducir las y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se cuarteará la muestra. El espesor de las capas con respecto al uso del suelo se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4: Profundidad del Muestreo según uso de suelos**

Usos del suelo	Profundidad del Muestreo (Capas)
Suelo Agrícola	0-30 cm (1) 30-60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

- 1) Profundidad de Aradura
- 2) Capa de contacto oral o dermal de contaminantes
- 3) Profundidad máxima alcanzable por niños

FUENTE: R. M. 085-2014-MINAM

**Tabla 5: Lista de Sistemas para la Toma de Muestras Sólidas**

SISTEMA	APLICACIÓN AL DISEÑO DE MUESTREO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
CALICATAS	Suelo de superficie suave, con profundidad de 0-100 cm.	Barato; fácil para usar, capacidad de profundidad limitada.
SONDEOS MANUALES	Suelo duro, con profundidad de 0-100cm.	Relativamente fácil de usar; capacidad de profundidad limitada; costos bajos.
ZANJAS	Todo tipo de suelo, hasta 4 m.	Fácil de usar; capacidad de profundidad limitada. Requiere del uso de retroexcavadora
SONDEOS LINER	Suelo arenoso, hasta 20 m.	Buen rango de profundidad; calificado para el muestreo de suelos con contaminantes volátiles; costos más elevados.
SONDEOS SEMIMECANICOS	Suelo rocoso o arenoso, hasta 10 m.	Buen rango de profundidad; puede requerir de dos a más operadores; costos medios.
SONDEOS MECANICOS	Todo tipo de suelo, grandes profundidades.	Buen rango de profundidad; generalmente empleado para ganar acceso a horizontes de suelo más profundos; requiere de mano de obra experimentada, costo más elevado.

FUENTE: Guía para Muestreo de Suelos – R. M. N° 085-2014-MINAM.

### 3.4.2. MANEJO DE LAS MUESTRAS

Para el manejo de las muestras, se cumplirán con los protocolos establecidos por los laboratorios respecto a la recolección y conservación de las muestras para su análisis.

#### a. Materiales para Guardar y Transportar Muestras

Las características del recipiente serán compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio, serán resistentes a la ruptura y evitarán reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Para la conservación las muestras se mantendrán en lugares frescos (cuatro a seis °C), el volumen del contenedor será aproximadamente el mismo de la muestra a tomar, con el fin de minimizar el espacio vado, en la Tabla 6 se especifican las medidas de conservación recomendadas por la guía para muestreo de suelos – R. M. N° 085-2014-MINAM respecto a diferentes parámetros.

**Tabla 6: Recipientes, Temperatura y Tiempo de Conservación**

Parámetro		Tipo de recipiente	Temperatura de Preservación	Tiempo máximo de conservación
Guía para muestro de suelos	Referencia al ECA para suelos del Perú			
Compuestos Orgánicos volátiles COV's	Naftaleno	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	Cuatro °C	14 días
BTEX	Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno			
Hidrocarburos Fracción Ligera	Fracción de Hidrocarburos F1 (C5-C10)			
Hidrocarburos Fracción Media	Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-28)			
Hidrocarburos Fracción Pesada	Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40)			
Compuestos Orgánicos semivolátiles COSV's y Plaguicidas	Aldrín, Endrín, DDT, Heptacloro			
Metales Pesados y Metaloides	Cianuro Libre , Arsénico Total , Bario Total , Cadmio Total , Cromo VI y Plomo Total	Bolsas de polietileno densas	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio (Hg)	Mercurio (Hg)	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	Cuatro °C	14 días
PCB	Bifenilopoliclorados	Viales de vidrio con cierre de teflón	Cuatro °C	14 días
PAH	Benzo(a) pireno			

FUENTE: Adaptado de la Guía para Muestreo de Suelos – R.M. 085-2014-MINAM.

## **b. Etiquetado**

La etiqueta será colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente, estando adherida adecuadamente para evitar su pérdida. La etiqueta contará con la siguiente información como mínimo: número o código único de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, fecha y hora del muestreo e iniciales de la persona que toma la muestra.

La impresión de los datos en la etiqueta debe realizarse con tinta indeleble e inmediatamente después de la toma de muestra.

## **c. Ficha de Muestreo**

Se elaborará un documento que recoja la información levantada en campo que incluya técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas.

## **d. Cadena De Custodia**

La cadena de custodia en original y dos copias acompañarán a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio.

## **3.5. ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis de datos es un proceso que busca resumir, limpiar y transformar los datos recolectados de una muestra con la finalidad de resaltar información útil para la elaboración de las conclusiones y la toma de decisiones.

Se optará por los siguientes métodos para el análisis de los datos recolectados:

### **3.5.1. CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS DE LA CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (SOQI-CCME)**

El Índice de Calidad del suelo (SoQI-CCME) es una herramienta complementaria que se centra más en la evaluación del riesgo relativo, mediante la comparación de las concentraciones de contaminantes con su respectivo índice de calidad del suelo.

Este modelo es una modificación del Índice de la calidad del agua del CCME.

El ICS-CCME utiliza tres factores para sus cálculos, 1) alcance (porcentaje de contaminantes que no cumplen sus respectivas directrices), 2) frecuencia (porcentaje de pruebas individuales de contaminantes que no cumplan con sus respectivas directrices), y 3) amplitud (cantidad por la cual los contaminantes no cumplen con sus respectivas directrices).

El Índice proporciona una evaluación cuantitativa de los sitios contaminados con una valoración entre 0 y 100. Utilizando estos valores finales, los sitios contaminados se pueden dividir en cinco diferentes clases basadas en su índice de calidad ambiental. Las clases propuestas son: Muy baja preocupación (90 a 100), baja preocupación (70 a 90), media preocupación (50 a 70), alta preocupación (30 a 50) y muy alta preocupación (0-30).

La ventaja del ICS-CCME es que permite combinar diferentes mediciones en una sola métrica, y facilita la presentación de los resultados para facilitar una visión general de la calidad del medio ambiente en varios sitios contaminados.

Según la *Canadian Council of Ministers of the Environment*, 2007 los requisitos básicos para utilizar este índice son los siguientes:

- Selección de contaminantes aplicables
- Recogida de muestras y análisis de contaminantes
- Datos de evaluación del lugar
- Directrices de calidad del suelo

Asimismo, la *Canadian Council of Ministers of the Environment*, 2007 brinda las fórmulas para el cálculo del Índice, las cuales se muestran a continuación:

**F1 (Ámbito de aplicación):** El factor F1 representa el porcentaje de contaminantes que no cumplen con sus respectivas directrices (contaminantes fallidos) con relación al número total de contaminantes que fueron medidos en el sitio.

$$F1 = \frac{\text{Número de contaminantes fallidos}}{\text{Número total de contaminantes}} \times 100$$

**F2 (Frecuencia):** El factor F2 representa el porcentaje de pruebas individuales que no cumplen con sus respectivas directrices (ensayos fallidos)

$$F2 = \frac{\text{Número de ensayos fallidos}}{\text{Número total de ensayos}} \times 100$$

**F3 (amplitud):** El factor de F3 representa la cantidad por la cual los contaminantes no cumplen con sus respectivas directrices. El factor F3 es calculado en los siguientes tres pasos.

Paso 1: Calcular la excursión de todas las pruebas en el conjunto de datos:

Cuando un parámetro no debe exceder una directriz:

$$Excursion = \frac{Valor\ inaceptable}{Directriz} - 1$$

Cuando un parámetro no debe ser menor a una directriz:

$$Excursion = \frac{Directriz}{Valor\ inaceptable} - 1$$

Paso 2. Calcular la suma promedio de excursiones o “ase”

Se calcula sumando la excursión de todas las pruebas individuales de sus directrices y dividiendo por el número total de pruebas que no cumplen sus directrices de la siguiente forma:

$$ase = \frac{\sum_{i=1}^n Excursion_i}{Número\ de\ ensayos\ fallidos}$$

Paso 3. Calcular F3 mediante una función asintótica que escale la suma promedio de excursiones (ASE) para producir un rango entre 0 y 100

$$F3 = \frac{ase}{0.01 \times ase + 0.01}$$

Una vez que los factores se han cuantificado, el ICS-CCME se calcula sumando todos los factores como si fueran vectores

$$ICS\ CCME = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732}$$

Considerar que si un sitio no se ha probado más de una vez con el tiempo o el espacio, el factor F2 (frecuencia) no será aplicable y el divisor de la ecuación para el cálculo del ICS-CCME deberá ser 1.414.

### **3.5.2. CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS**

Según Dallas, 2000 este análisis estadístico tiene el fin de medir la intensidad de la relación lineal entre dos variables de una muestra. El índice de la correlación puede tomar valores entre -1.0 y 1.0, considerando que una correlación positiva tiene un índice que se acerca a

1.0, una correlación negativa tiene un índice que se acerca a -1.0 y la ausencia de correlación se da en coeficientes que se acercan a cero.

El autor hace hincapié en el término regresión lineal, dado que una correlación de la muestra que es igual o cercana a cero indica que no existe regresión lineal, sin embargo, no se podría afirmar que no existe relación alguna.

El coeficiente de correlación entre parámetros presenta algunos inconvenientes cuando se trabajan con unidades de medida distintas, para ello, se busca modificar dicho coeficiente para transformarlo en un número abstracto, en el que la unidad de medida de la muestra colectada no sea importante, este es el coeficiente de correlación de Pearson, el cual será invariante frente a cualquier cambio de unidad de medida. (Amón, 2003)

Este coeficiente es usado para muestra de datos que siguen una distribución normal, para los casos donde los datos no siguen una distribución normal se usarán pruebas no paramétricas, como el análisis de correlación de Spearman.

### **3.5.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

Según Dallas, 2000 «El análisis de componentes principales (PCA: *principal component analysis*) comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales...la razón más importante para realizar un análisis de componentes principales (PCA: *principal component analysis*) es para usarlo como herramienta para cribar los datos de variables múltiples».

Otra razón para usar el PCA es la agrupación de datos, este análisis permite agrupar las unidades experimentales en subgrupos de tipos semejantes.

El PCA se puede hacer sobre una matriz de varianza-covarianza o en una matriz de correlación, para el presente estudio se usara el software estadístico XLSTAT, el cual, funciona como un complemento perfectamente integrado en MS Excel, entre sus principales herramientas están las herramientas de preparación y visualización de datos, pruebas paramétricas y no paramétricas, métodos de modelización (ANOVA, regresión, modelos lineales generalizados, modelos mixtos, modelos no lineales), características propias de la minería de datos (análisis de componentes principales, análisis de correspondencias, etc.) y métodos de agrupamiento (Clusters Jerárquicos Aglomerados, K-medias, etc.).

### 3.5.4. ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN

El índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ), que fue propuesto por Muller en 1969 para evaluar los niveles de contaminación en los sedimentos, no obstante, esta técnica también se puede utilizar para la evaluación de la contaminación del suelo. El  $I_{geo}$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{geo} = \text{Log}_2(C_n/1,5 \times B_n)$$

Donde  $C_n$  es el contenido de elementos traza en el suelo,  $B_n$  es la concentración de fondo geoquímico del metal, el 1.5 es el factor de compensación del contenido de fondo debido a los efectos litogénicos. El  $I_{geo}$  se clasifica en siete grados o cinco grados, como se muestra en la Tabla 7. Dado que el método de clasificación de siete grados es más específico, se seleccionó este método para evaluar los niveles de contaminación de metales pesados en los suelos.

**Tabla 7: Las clases del valor  $I_{geo}$**

Clasificación de 7 grados			Clasificación de 5 grados		
$I_{geo}$	Clase	Calidad del suelo	$I_{geo}$	Clase	Calidad del suelo
$I_{geo} \leq 0$	1	prácticamente no contaminado	$I_{geo} \leq 0$	1	sin contaminar / ligeramente contaminado
$0 < I_{geo} \leq 1$	2	no contaminado a moderadamente contaminado	$0 < I_{geo} \leq 1$	2	moderadamente contaminado
$1 < I_{geo} \leq 2$	3	moderadamente contaminado	$1 < I_{geo} \leq 3$	3	Moderadamente / fuertemente contaminado
$2 < I_{geo} \leq 3$	4	moderadamente a fuertemente	$3 < I_{geo} \leq 5$	4	Fuertemente contaminado
$3 < I_{geo} \leq 4$	5	Fuertemente contaminado	$5 < I_{geo}$	5+	Extremadamente contaminado
$4 < I_{geo} \leq 5$	6	fuertemente a muy fuerte			
$5 < I_{geo}$	7+	Muy fuertemente contaminado			

FUENTE: QI et al., 2011

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada políticamente en el distrito y provincia de Caylloma, región de Arequipa. Geográficamente se localiza en la parte inferior de la confluencia de las microcuencas correspondientes a las Quebradas Huarajo y Cuchilladas, en la parte alta del río Santiago, a una altitud comprendida entre 4500 y 5000 msnm. Para la identificación de los suelos contaminados se delimitaron dos áreas de estudio, dentro de la primera área se encuentran depósitos de desmonte y dentro de la segunda área se encuentra un depósito de relaves. En la Tabla 8 se detalla las coordenadas de la cuenca alta del Río Santiago y en la Tabla 9 se pueden visualizar las coordenadas de las áreas de estudio. (Ver anexo 07 – Plano 01 y Plano 02)

**Tabla 8: Coordenadas de la Cuenca alta del Rio Santiago**

Nombre	Coordenadas en Grados Decimales		Altitud m.s.n.m.
	Latitud	Longitud	
Cuenca alta del Rio Santiago	-15.2283	-7.8156	4 389

FUENTE: [www.mapasamerica.dices.net](http://www.mapasamerica.dices.net)

**Tabla 9: Coordenadas de las áreas de estudio**

Zona	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Este	Norte
Área de estudio 1	192 785	8 318 351
Área de estudio 2	195 922	8 314 114

FUENTE: Elaboración propia (2017)

Se accede desde la ciudad de Lima por vía aérea o vía terrestre hasta la ciudad de Arequipa y desde ahí por carretera pasando por el distrito de Sibayo hasta el distrito de Caylloma.

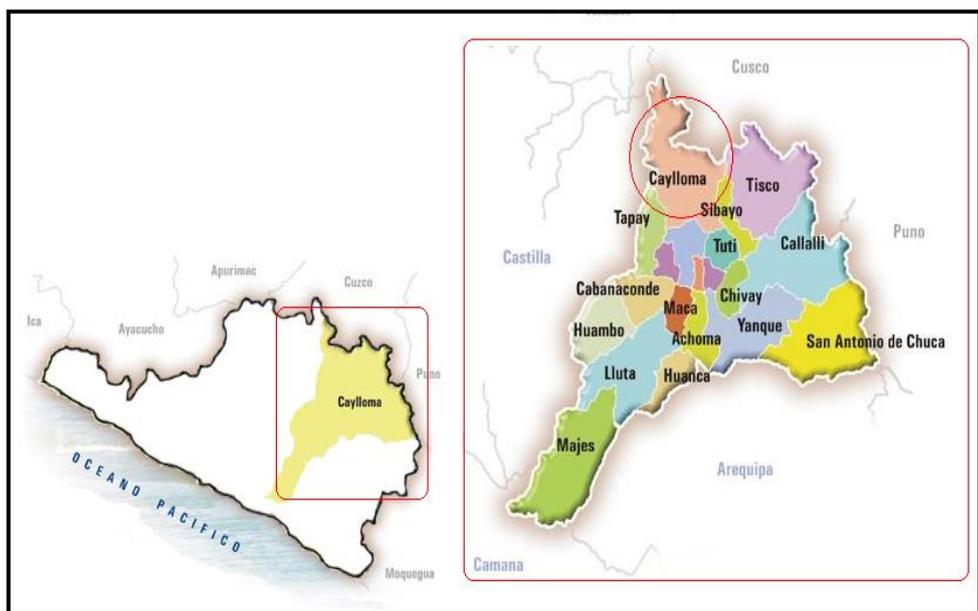


Figura 2: Provincia de Caylloma y Distrito del mismo nombre

## 4.2. INVESTIGACIÓN HISTÓRICA

### 4.2.1. USOS DEL SUELO ACTUAL E HISTÓRICO

#### a. Tipos de Suelo

El Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM, incluye un estudio de clasificación de suelos donde se tomaron muestras de nueve calicatas y clasificación según capacidad de uso mayor de tierras (ver anexo 07- Plano 03)

Dentro del estudio mencionado los sub grupos de suelos fueron determinados con la aplicación del sistema de Clasificación Taxonómica de Suelos (Soil Taxonomy, 2014) a las que por razones de orden práctico que haga posible su fácil identificación se convino realizar una clasificación cartográfica de suelos mediante consociaciones de los subgrupos identificados, estas consociaciones se denominaron con un nombre local, tomando en consideración sus rasgos diferenciales, tanto físico-morfológicos como químicos, y sus fases por pendiente (Ver Tabla 20), la clasificación realizada se muestra en la Tabla 10 y las consociaciones y asociaciones de unidades de suelos y/o áreas misceláneas, encontradas en el área de estudio se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 10: Clasificación Natural de los Suelos**

Orden	Sub orden	Gran grupo	Sub grupo	Nombre
Andisols	Ustands	Durustands	Thaptic Durustands	Zona Bateas
			Humic Durustands	Zona San Cristóbal Zona Don Lucho Zona Santa Catalina Zona Don Luis Zona San Francisco
			Aquic Durustands	Zona Reservada Zona Animas
			Typic Durustands	Zona Vilafro

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

Las zonas de San Cristóbal y San Francisco son las áreas donde se establecieron las *Área de estudio 1* y *Área de estudio 2*, respectivamente, por lo que el área de trabajo del presente estudio se encuentra en el subgrupo Humic Durustands.

**Tabla 11: Unidades cartográficas de las unidades de suelos y/o áreas misceláneas**

Consociación	Símbolo	Proporción (%)	Pendiente
<b>Consociación de suelos o Área miscelánea</b>			
Don Lucho	DLO	100	D, E
Santa Catalina	SCA	100	C, D
Bateas	BA	100	A, B
Don Luis	DLS	100	C, D
Vilafro	BI	100	D, E
San Cristóbal	SCR	100	D, E
San Francisco	ZRL	100	A, B, C
Animas	AN	100	B, C, D
Reservada	ZR	100	B, C
Misceláneo Roca (*)	MRo	100	E, F
Misceláneo Cárcavas (*)	MISC	100	E, F
<b>Asociación de suelos y/o Área miscelánea</b>			
Bateas – Don Luis	BA - DLS	40 – 60	A, B
San Cristóbal - Animas	SCR – AN	45 - 55	C, D
<b>OTROS</b>			
Lagunas			

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

\* Unidades no edáficas, constituidas por afloramientos rocosos (MisR) o suelos erosionados con presencia de surcos y cárcavas (MisC).

Dentro de las *Área de estudio 1* y *Área de estudio 2* encontramos las consociaciones San Cristóbal, Don Luis, San Francisco y Misceláneo Roca; y las asociaciones San Cristóbal – Animas y Bateas – Don Luis (ver anexo 07- Plano 03).

## **b. Uso Actual de la Tierra**

Para la descripción de uso actual de las tierras se tomó como referencia al Sistema de Nueve Categorías de la Unión Geográfica Internacional – UGI.

La información obtenida fue agrupada en cuatro categorías de uso de la tierra, dentro de las cuales se ha determinado subcategorías de uso actual, de acuerdo a la predominancia de los componentes dentro de las unidades identificadas en el área de estudio. En la Tabla 12 se muestran las categorías y subclases de uso actual del suelo. (Ver anexo 07 – Plano 04)

**Tabla 12: Categorías y subclases de uso actual de la tierra**

<b>Categoría</b>	<b>Sub Clases agrupadas y no agrupadas</b>	<b>Símbolo</b>
<b>UNIDADES PURAS</b>		
Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Privadas	Uso Minero	1-UM
Terrenos con Praderas Naturales	Pajonal de Puna	6 –Pp
Terrenos Húmedos	Vegetación Hidromorfica	8 -Vh
Terrenos sin uso y/o improductivos	Afloramiento Rocoso	9-Ar
	Terrenos sin vegetación	9-Tsv
	Terrenos con vegetación Esporádica	9-Tve
<b>OTROS</b>		
Cuerpos de agua	Lagunas	9-L

FUENTE: Adaptado del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

### **b.1. Terrenos Urbanos e Instituciones Públicas y Privadas - Uso Minero (1-Um)**

Ocupa una superficie de 89.29 Ha, equivalente al 1.92 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Abarca toda el área sobre la cual se ubican los componentes del proyecto, tales como: depósitos de relaves, tajos, depósitos de desmonte, trincheras, campamentos y otras infraestructuras relacionadas al

proyecto. Para dichas áreas que fueron impactadas por las actividades del proyecto, se propondrán medidas de remediación y recuperación.

#### **b.2. Terrenos Con Praderas Naturales - Pajonal De Puna (6-Pp)**

Ocupa una superficie de 248.62 Ha, equivalente al 5.35 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Estos terrenos se encuentran principalmente en laderas bajas, donde los suelos son superficiales a moderadamente profundos, con ocurrencia de afloramientos rocosos o fragmentos rocosos como gravas, guijarros y piedras.

Estos pastizales desarrollados en forma generalizada en el área de estudio en mixtura con especies propias de pajonales constituyen las áreas verdes de las zonas muy frías y secas, de gran importancia para la alimentación de auquénidos silvestres.

#### **b.3. Terrenos Húmedos - Vegetación Hidromórfica (8-Vh)**

Ocupa una superficie de 77.41 Ha, equivalente al 1.67 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Corresponde a las formaciones vegetales ubicadas en suelos hidromórficos sobre la planicie fluvio glaciar, fluvio lacustre, aluvial y en parte basal de las laderas de colinas y montañas de mal drenaje, en mixturas con especies de porte arrosetado o almohadillas, generadores de abundante materia orgánica en el suelo. Se ubican en áreas próximas al río Santiago.

#### **b.4. Terrenos Sin Uso Y/O Improductivos**

- **Afloramiento Rocoso (9-Ar)**

Esta unidad corresponde predominantemente a los terrenos localizados en las partes más altas de la zona de estudio. Ocupa una superficie de 3399.42 Ha, equivalente al 73.17 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. En la parte alta la inexistencia de vegetación, se debe a la presencia de afloramientos rocosos consolidados y no consolidados, a la erosión por acción del agua de escorrentía y efecto de la gravedad, así como presencia de depósitos de derrubios de origen coluvial o glacial, donde el

suelo tiende a ser superficial o muy superficial.

El uso de estos terrenos está supeditado al uso industrial (presencia de minerales y otros recursos naturales para su explotación).

- **Terrenos sin vegetación (9-Tsv)**

Ocupa una superficie de 28.21 Ha., equivalente al 0.61 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Esta unidad corresponde a los terrenos localizados en partes altas de la zona de estudio, en estos terrenos el clima muy frío y seco y el relieve escarpado imposibilitan la proliferación de especies vegetales. Asimismo, corresponde a los terrenos libres de vegetación localizados en la cima y ladera de colinas, en la cual la erosión laminar debido a la acción hídrica es fundamental, se ubican en la parte Noreste de la zona de estudio. Del mismo modo, el clima frío y seco limita la proliferación de especies vegetales.

El uso de estos terrenos está supeditado al uso industrial (presencia de minerales y otros recursos naturales para su explotación).

- **Terrenos con Vegetación Esporádica (9-Tve)**

Ocupa una superficie de 727.21 Ha, equivalente al 15.66 por ciento del área caracterizada en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Esta unidad de uso de la tierra se localiza en las partes altas hacia el Sur y Sur Oeste de la zona de estudio, por encima de los 4 500 m.s.n.m., aproximadamente, en las cimas y laderas de colinas, lomadas y montañas, está asociado a la presencia de fragmentos rocosos como gravas, mientras que, en las zonas con predominancia de afloramiento rocoso y tierras sin aptitud agrícola, casi no existe vegetación tipo pasturas, solo se observa vegetación esporádica muy dispersa y solo en pequeñas zonas donde la roca es meteorizada y colonizada por líquenes.

### **c. Uso Histórico**

El estudio de suelos no puede desvincularse de las poblaciones aledañas que se involucraron y se siguen involucrando con ella, con actividades afines, como el caso de la minería o

distintas como la ganadería o agricultura; la presente investigación histórica mediante encuestas pretende recopilar las versiones de estos pobladores sobre el uso pasado del territorio, así como los imaginarios que aún persisten, para ello se realizará una revisión de entrevistas a distintos pobladores de la zona.

Como parte de la recopilación de información, se realizaron entrevistas a 3 personas, los cuales son pobladores de la zona, y albergan recuerdos de vital información para el presente estudio.

- **¿Antiguamente, cómo fue su relación con el sitio y las actividades? Vecino, propietario, ninguna.**

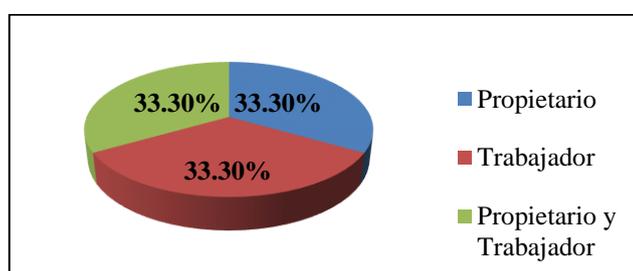


Figura 3: Relación con el sitio y las actividades  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los pobladores se reconocen como vecinos y trabajadores de una Empresa Minera por el peso de esta actividad en la zona.

- **¿Qué actividades se han desarrollado en el sitio? Minería, agricultura, ganadería, etc. ¿Durante qué periodo?**

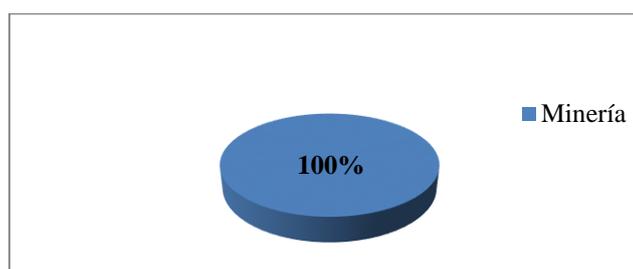


Figura 4: Actividades que han desarrollado históricamente  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los casos registrados en las entrevistas, dan cuenta del fuerte peso de la actividad minera en la zona, pues la reconocen como una actividad que se remonta a varias décadas atrás y que se mantiene como la actividad por excelencia hasta la fecha, la cual convive con las poblaciones aledañas, en una relación amigable.

Domingo Llallacachi: “la actividad principal siempre ha sido la minería”

Rodolfo Ynfa: “Desde los inicios, ha sido la minería, por los años de 1940 a la fecha”

- **¿Conoce en la localidad alguna área de operaciones de estas actividades fuera del sitio?**

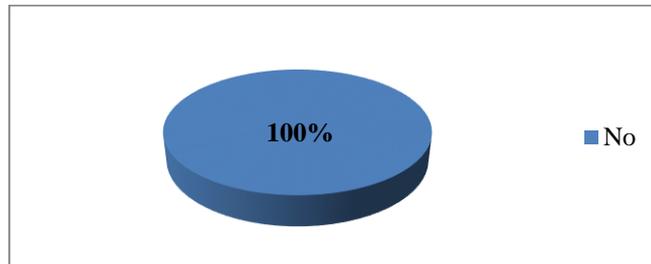


Figura 5: Conocimiento de la población sobre sucursales  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

La mayoría de entrevistados, manifiestan sólo conocer el actual lugar de operaciones, no conocen de otras sucursales u otros sitios de operaciones mineras fuera de Caylloma.

- **¿Quién es el propietario del sitio? ¿A quién le pertenecía anteriormente?**

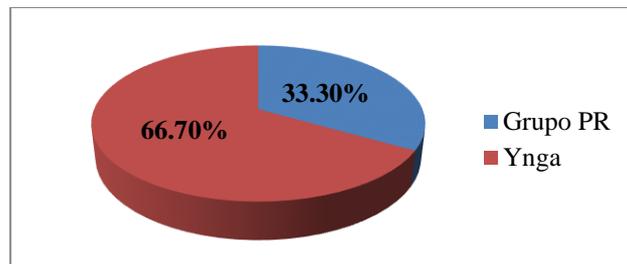


Figura 6: Propietario del sitio  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados, reconocen principalmente a la familia Ynfa como los actuales propietarios de las inmediaciones, esto desde los años de 1970, así mismo, se detallan los dueños anteriores, como el caso de la familia Llallacachi, Murguía, Apaza, Palomino a través de los años.

- **¿Qué minas conoce en su localidad?**

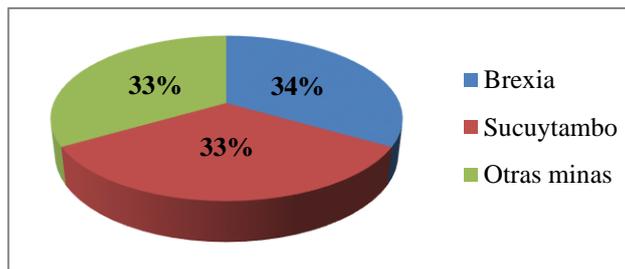


Figura 7: Otras localidades  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

De todos los entrevistados, se hace mención que a la mina Brexia Gold Plata, la reconocen como próxima, así como la presencia de minería informal en la zona.

- **¿El sitio ha sufrido modificaciones en su apariencia? ¿Qué edificaciones se han construido y para qué?**

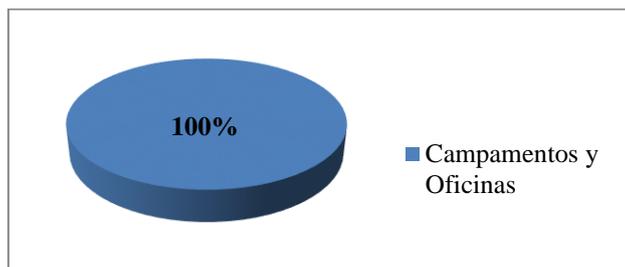


Figura 8: Edificaciones construidas  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Las personas entrevistadas tienen conocimiento de las construcciones, tanto de los campamentos como oficinas y comedores; propio de la relación con la actividad minera en la zona, los trabajadores son testigos de todos los cambios que se dan en las instalaciones.

- **¿Han ocurrido accidentes y eventos notables concernientes a la salud ocupacional (incendios, derrames)?**

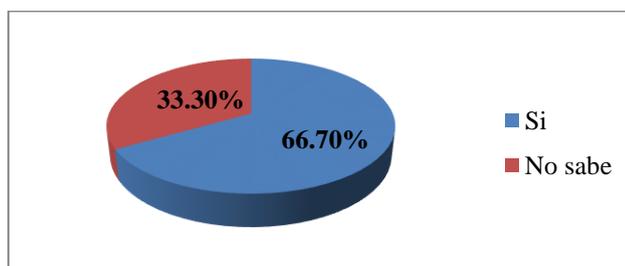


Figura 9: Accidentes o eventos  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

La mayoría de las personas entrevistadas, manifiestan no haber evidenciado accidentes de ningún tipo, pero sí se hace mención de un incendio en el año de 1978 como se detalla a continuación:

“En el campamento de Flor de Mundo, se produce un incendio en la compresora Gardem Denver en el año de 1978”

- **¿Cómo han sido/son manejados los accidentes por los Titulares Mineros?**

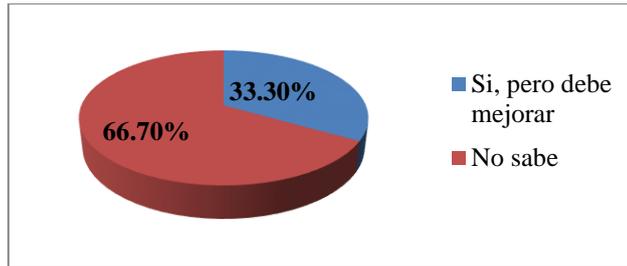


Figura 10: Control de accidentes  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados, como desconocen de accidentes, no sabe de qué manera las empresas mineras los manejan o controlan.

- **¿Cómo se ve perjudicado el medioambiente por esta actividad? (Daños al agua, suelo, aire, polvo)**

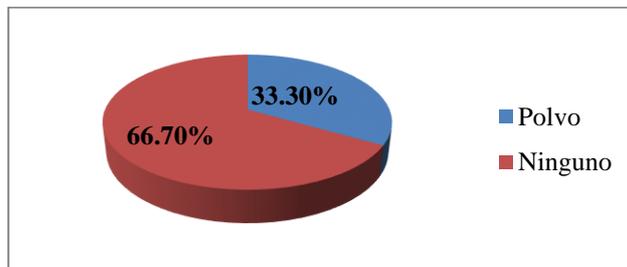


Figura 11: Daños al medio ambiente  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados manifiestan que en los años de 1970 no había este tipo de áreas, pero que a la fecha, se podría considerar el polvo como el mayor problema contaminante, no mencionan problemas de agua ni de suelos en la zona.

- **¿Sabe dónde botan los residuos líquidos o relaves?**

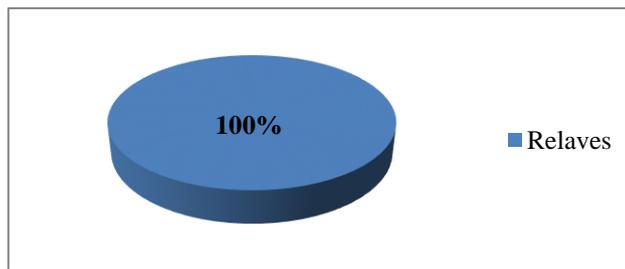


Figura 12: Residuos líquidos o relaves  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Para ésta pregunta, los entrevistados están convencidos de la presencia de canchas de relaves donde se concentra los residuos líquidos, ello brinda tranquilidad a los pobladores, ya que no se encuentra expuesto a contaminantes.

“El relave se deposita en la cancha de relave”

- **¿Conoce de áreas de depósito, tratamiento o disposición final de residuos, por ejemplo, rellenos sanitarios, botaderos, etc.?**

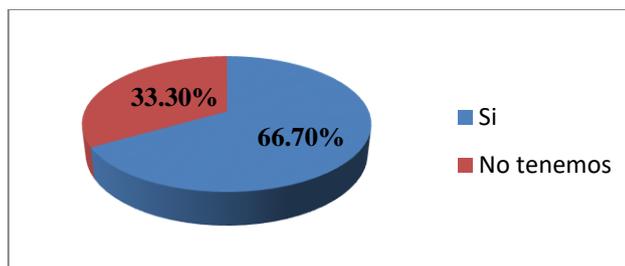


Figura 13: Residuos sólidos  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados indican que la provincia de Caylloma cuenta con un relleno sanitario, otros afirman que lo que existe son dos instalaciones donde tratan los residuos sólidos de los desagües.

- **¿En caso de lluvia, que medidas ambientales toman los titulares mineros?**

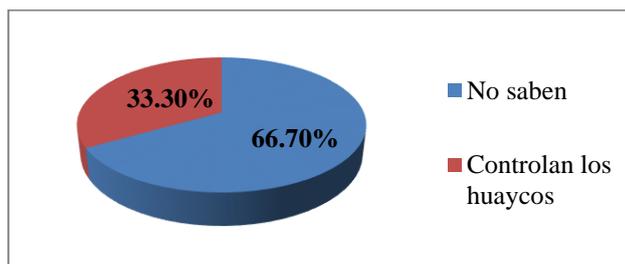


Figura 14: Medidas de control  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados manifiestan que las empresas mineras toman medidas de control ambiental en el caso de lluvias, a fin de que no se afecte a la población, como el caso de los huaycos. Otro grupo de los entrevistados desconocen las medidas desplegadas para evitar problemas ambientales.

- **¿El sitio ha sufrido/ sufre inundaciones?**

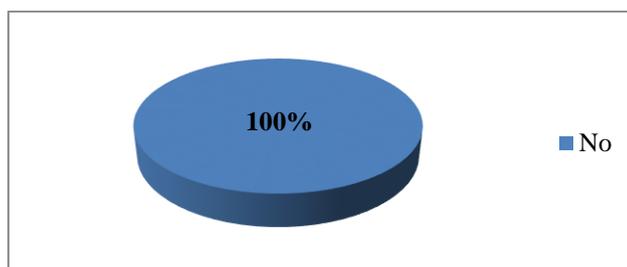


Figura 15: Inundaciones  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados no reconocen antecedentes de inundaciones, no recuerdan situaciones similares.

- **¿Los vecinos del sitio se han visto afectados y han presentado quejas por las actividades?**

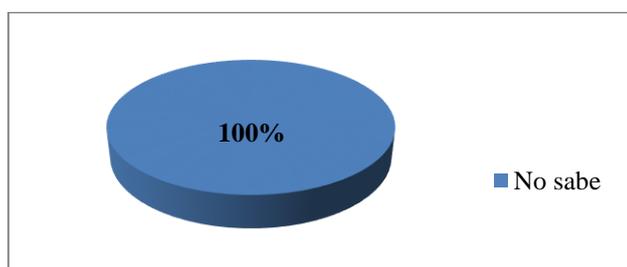


Figura 16: Quejas sobre actividades  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los entrevistados no presentan quejas y desconocen afecciones en el sitio o, lo que evidencia que se mantienen buenas relaciones con las poblaciones vecinas.

De la revisión de las encuestas se puede observar que la principal actividad asociada a la zona desde tiempos remotos es la minería, y que los principales cambios ocasionados son por la construcción de infraestructuras necesarias en el desarrollo de la actividad en mención. Finalmente se observa que los pobladores no perciben la actividad como una fuente importante de contaminación, excepto por la generación de polvos, así como tampoco se ha obtenido información sobre accidentes o incidentes ocurridos en la zona.

#### **4.2.2. MAPA DE PROCESOS**

De la revisión de las R. D. N° 312-2010-MEM-AAM y R.D. N° 173-2011-MEM-AAM que aprueban estudios de impacto de ambiental de dos unidades mineras cercanas al área de estudio se ha podido determinar que el proceso de minado típico que se da en la zona es el laboreo subterráneo, el cual comprende bocaminas, chimeneas y galerías, posteriormente dependiendo del interés económico, el mineral puede ser transportado hacia el depósito de desmontes o hacia la Planta de Beneficio de minerales, en la planta se obtiene los concentrados para su comercialización y el relave generado se conduce a un depósito de relaves.

Las operaciones mineras se ejecutan de modo progresivo y sistemático en conformidad con su Plan de Producción y fundamentalmente comprenden las operaciones básicas de explotación como perforación, voladura, sostenimiento, carguío, acarreo y transporte de mineral (stock pile de la planta) y desmonte al depósito de desmontes y relleno.

El Procesos de minado típico, sigue las siguientes actividades:

##### **a. Perforación y Voladura**

Estas operaciones constan de los siguientes pasos:

- **Regado y Desatado de rocas**

Se procede al regado de la labor para poder observar con mayor claridad el macizo rocoso después del disparo y así poder hacer un correcto desatado de las rocas sueltas.

- **Voladura**

La voladura son pequeñas explosiones que se realizan con ayuda de explosivos.

- **Acarreo**

El acarreo es la extracción del mineral utilizando carros mineros.

- **Carguío**

Esta actividad está relacionada al carguío del mineral a los vehículos adecuados para su transporte a las plantas de procesamiento

- **Transporte**

Existen labores donde se utiliza camiones de bajo perfil. Entre los sistemas de

transporte de mineral y desmonte se utilizan locomotoras, camiones de bajo perfil y camiones volquetes diésel.

#### **b. Relleno**

Es un sistema donde se utiliza relleno detrítico producto de las labores en zonas estériles de mineral (desmonte), como son: rampas, bypass, cruceros además otras labores de exploración y desarrollo, para el relleno de bocaminas o galerías que ya no se utilizarán.

#### **c. Disposición de Desmontes**

Como se mencionó, los desmontes generados en las labores de explotación pueden ser dispuestos como relleno en mina, sin embargo siempre queda un excedente el cual es dispuesto en canchas o depósitos de desmontes.

#### **d. Plantas de Procesos y Beneficios**

La planta de procesamiento construida por la entonces propietaria Compañía Minera Caylloma S.A. se encuentra cerca de la zona de estudio, en ella se procesan minerales con contenidos valiosos de Pb, Cu, Zn, Ag y Au.

Según el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. Esta planta concentradora cuenta con secciones de chancado, molienda, flotación, filtrado, concentrados y disposición de relaves. También cuenta con instalaciones conexas de pozas de contingencia, almacén para el despacho de concentrados, laboratorio metalúrgico, tuberías para la recirculación de agua, laboratorio químico, laboratorio ambiental y zona de mantenimiento mecánico de equipos.

#### **4.2.3. CUADRO DE MATERIA PRIMA PRODUCTOS RESIDUOS**

La Tabla 13 muestra a manera de resumen los procesos productivos que se llevan a cabo en las unidades mineras cercanas a la zona de estudio. Esta tabla ha sido elaborada con información de las R. D. N° 312-2010-MEM-AAM y R.D. N° 173-2011-MEM-AAM las cuales aprueban estudios de impacto ambiental de dichas unidades mineras.

**Tabla 13: Resumen de información sobre los procesos productivos generales**

Unidades de Procesos Principales	Materia Prima	Productos y Subproductos	Insumos combustibles	Residuos
Proceso de minado en bocaminas	Agua, rocas sueltas	Mineral	Combustible, explosivos y accesorios de voladura	Agua, Rocas (Desmante), gases de voladura (CO, NO, NO <sub>2</sub> ), Residuos sólidos (madera, jebe, metales, plástico), aceites, grasas.
Procesamiento del mineral (Planta de beneficio)	Mineral (plata, cobre y sulfuros de plomo, zinc en menor proporción oro)	Concentrados en su mayoría de plomo y zinc con contenido de agua bajo (humedad)	Forros de acero para las chancadoras, malla metálicas para las zarandas, fajas trasportadoras, lubricantes, Reactivos	Relaves

FUENTE: Elaborado con información de las R. D. N° 312-2010-MEM-AAM y R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

#### 4.2.4. SITIOS DE DISPOSICIÓN Y DESCARGA

##### a. Depósitos de Desmante

Dentro del *Área de estudio 1* se encuentran 4 depósitos de desmante los cuales se nombraran para su identificación Depósito de desmante N° 1, Depósito de desmante N° 2, Depósito de desmante N° 3 y Depósito de desmante N° 4. En la Tabla 14, se muestran las coordenadas de dichos depósitos. (Ver anexo 07 – Plano 02)

**Tabla 14: Coordenadas de los depósitos de desmante**

Nombre	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Este	Norte
Depósito de desmante N° 1	192 742	8 318 729
Depósito de desmante N° 2	192 884	8 318 327
Depósito de desmante N° 3	192 777	8 318 360
Depósito de desmante N° 4	192 615	8 317 862

FUENTE: Elaboración propia

##### b. Depósito de Relaves

Dentro del *Área de estudio 2* se localiza un depósito de relaves cuya ubicación se especifica en la Tabla 15.

**Tabla 15: Coordenadas del depósito de relaves**

Nombre	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Este	Norte
Depósito de relaves	196 004	8 314 161

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.2.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES NATURALES DEL PREDIO

##### a. Características Geológicas

De acuerdo a lo descrito en el Boletín Geológico del cuadrángulo 31-s, se puede apreciar que en la región de caylloma afloran unidades sedimentarias y volcánicas, cuyo rango de edad abarca desde el Jurásico hasta el Reciente, tal como se puede ver en la Tabla 16.

**Tabla 16: Columna Estratigráfica**

CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA		
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	Depósitos pleistocénicos	Glaciofluviales	Qpl-glf
				Morrénicos	Qpl-mo
	TERCIARIO	SUPERIOR	Formación Sencca; cv=Centro Volcánico		Ts-se cv
		MEDIO	Grupo Tacaza	Formación Orcopampa	Tm-or
////////// Disc. Angular \\\\\\\\\\\\\\\\'					
MESOZOICO	CRETÁCEO	INFERIOR	Grupo Yura	Formación Labra	Jki-la
	JURÁSICO	SUPERIOR			

FUENTE: Adaptado de la Carta Geológica del Perú – cuadrángulo 31-s

##### b. Características Hidrogeológicas

Dentro del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM se determinó que el acuífero principal corresponde a medios permeables constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados o escasamente consolidados y rocas intensamente fracturadas. En dicha área de estudio se distinguieron dos áreas principales de sistemas hidrogeológicos, Área de Santiago y Área de Trinidad, las *Áreas de estudio* establecidas en

el presente trabajo se encuentran en el área de Santiago por lo que en la Tabla 17 se puede apreciar la clasificación hidrogeológica de los acuíferos en esa área.

**Tabla 17: Sistemas Hidrogeológicos**

Formaciones		Litología	Tectónica micro	Permeabilidad k (cm./s)	Clasificación Hidrogeológica
<b>ÁREA DE SANTIAGO</b>					
Zona Bateas	Detrítico	Grava angulosa, arena, limo, arcilla		$8.024 \times 10^{-4}$	<b>Acuífero poroso no consolidado</b>
	Fisurado	Roca volcánica – Lavas andesíticas	fracturado	$9.62 \times 10^{-6}$	<b>Acuífero fisurado localizado en estructuras</b>
Zona Santiago medio inferior	Detrítico	Grava, arena, limo, arcilla		$1.27 \times 10^{-3}$ a $2.093 \times 10^{-3}$	<b>Acuífero detrítico</b>

FUENTE: Adaptado del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

### **b.1. Nivel freático**

La napa contenida en los acuíferos se comportan como: libre, semiconfinado y confinado de acuerdo a su disposición y recorrido siendo su fuente de alimentación proveniente de las aguas que se infiltran en la parte alta de las microcuencas Huarajo y Cuchilladas (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río.

### **b.2. Acuíferos**

Las operaciones mineras circundantes no extraen ni utilizan aguas subterráneas. Al no ser explotada la napa en el área de bofedales, la depresión del nivel freático no tendrá mayor variación. De este modo, la evolución piezométrica, no sufrirá un descenso importante de los niveles de manera que no motivará la desconexión hidráulica de los bofedales con el acuífero local, comportándose aquéllos actualmente como zonas de recarga del acuífero en las ocasiones en que circula agua por sus cauces.

### **c. Características Hidrológicas**

Las características hidrológicas se tomaron del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. (Ver anexo 07 – Plano 05)

### **c.1. Ríos**

Dentro del área de estudio se ha identificado el río Santiago el cual va desde la confluencia de las quebradas Cuchilladas y Huarajo a 4 540 de altitud hasta el nivel 4 300 m.s.n.m., extendiendo un área de drenaje de 47.16 Km<sup>2</sup>, con una longitud del perímetro de la divisoria de aguas de 3.03 Km, la longitud del cauce principal, es de 9.65km, tiene una pendiente media de 1.76 por ciento. Fluye en dirección noroeste a sureste, aguas debajo de su recorrido se interseca con la quebrada Huancané y el río Huarhuarco. La microcuenca Santiago es alimentada por 4 lagunas (Vilafro, Jesús María, Antimonio y una laguna sin nombre) y cuatro quebradas.

### **c.2. Quebradas**

Dentro del área se ha identificado las siguientes quebradas:

- Quebrada Huarajo

Se inicia a una altitud de 5 100 m.s.n.m. y se extiende hasta el nivel de 4 540 m.s.n.m., la longitud total del río es del orden de 9.2 km, su pendiente media es de 7.4 por ciento produciendo sedimentos en las zonas bajas donde se emplazan bofedales, en todo el trayecto no cuenta con tributarios importantes. Fluye en la dirección de Noreste a Sureste, desembocando en la confluencia con la quebrada Cuchilladas.

- Quebrada Cuchilladas

La naciente de esta quebrada se ubica a una altitud de 5 025 m.s.n.m. y se extiende hasta los 4 540 m.s.n.m., fluye en dirección Noreste a Suroeste, tiene una longitud máxima de cauce de 5.1 Km., su pendiente media es de 9.5 por ciento. El aporte de fuentes de agua son algunas quebradas secundarias de deshielos y pequeños manantiales ubicados a lo largo de la quebrada, sin embargo no tiene afluentes importantes.

### **c.3. Lagunas**

- Laguna Vilafro

La laguna Vilafro se presenta como el cuerpo de agua más importante dentro del área de estudio, tiene un área de espejo de agua aproximada de 77 Hectáreas y un

perímetro de 4.58 Km. Se encuentra hacia el lado occidental de todas las operaciones mineras incluido las dos relaveras.

Es alimentada superficialmente por las aguas de la quebrada secundarias de deshielos y algunos bofedales que se encuentra en el sector norte. Se considera el cuerpo de agua más importante de la zona.

- Laguna Jesús María

La laguna Jesús María es otro cuerpo de agua importante dentro del área del estudio, tiene un área de espejo de agua aproximada de 3.62 Hectáreas y un perímetro de 0.825 Km. Es alimentada superficialmente por las aguas de las quebradas secundarias de deshielos y algunos bofedales que se encuentra en el sector norte este. Se considera un cuerpo de agua importante para la zona.

- Laguna Antimonio

La laguna antimonio se encuentra ubicada a espaldas de la Laguna Jesús María, con un área de 4.48 ha y un perímetro total de 0.823 Km; recibe el aporte de bofedales, y presenta una descarga principal hacia el río Santiago.

#### **c.4. Aguas subterráneas**

Localmente el agua subterránea está dominada por un sistema geológico estructural conformado por fallas y fracturas que sirven como medio de conducción del flujo subterráneo principal. La presencia de agua subterránea, se evidencia por el afloramiento de pequeños manantiales alineados que discurren hacia bofedales dentro del área de la micro cuenca, donde se almacena el agua y luego discurren por quebradas hacia las partes bajas.

La zona de recarga constituyen las partes altas, en donde las áreas de recepción están delimitadas por líneas de cumbres de los cerros conformando microcuencas, en donde al estar expuestas las rocas fracturadas, permiten la percolación de las aguas de lluvia hacia el subsuelo.

Las zonas de descarga natural del agua subterránea, se localizan por el contrario en las partes intermedias a bajas de las quebradas, donde se manifiestan como afloramientos de manantiales en forma intermitente con caudales variables, o en forma individual en el lecho de arroyos alimentándolos en forma permanente.

#### d. Características Topográficas

La zona de estudio se caracteriza por presentar una superficie abrupta y accidentada, debido a la interacción de factores geodinámicos, geológicos y procesos tectónicos. La presencia del sistema montañoso de los Andes, que atraviesa el país origina una gran variedad de paisajes. En la Tabla 18 se presenta la clasificación de pendientes. (Ver anexo 07 – Plano 06)

**Tabla 18: Fases por pendiente**

Término Descriptivo	Rango (%)	Color	Símbolo
Plano casi a nivel	0 - 2		A
Ligeramente inclinada	2 - 4		B
Moderadamente inclinada	4 – 8		C
Fuertemente inclinada	8 – 15		D
Moderadamente empinada	15 – 25		E
Empinada	25 – 50		F
Muy empinada	50 - 75		G
Extremadamente empinada	>75		H

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### e. Datos Climáticos

De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM el área de estudio, el cual forma parte de la Cordillera de los Andes, presenta un clima frío y seco durante todo el año, con fuertes vientos entre los meses de agosto y setiembre, y con precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo, además de granizadas que cubren toda el área de nieve.

##### e.1. Precipitación

Se empleó información registrada del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en las siguientes estaciones: La Angostura, Caylloma, Janacancha y Cabanaconde. En la Tabla 19 se presenta la precipitación total mensual.

**Tabla 19: Estaciones con registro de Precipitación Total Mensual**

Estación	Ubicación			Coordenadas		Altitud m.s.n.m.	pp. Total Anual (mm)	Periodo de Registro
	Dep.	Prov.	Dist.	Long.	Latitud			
La Angostura	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71° 38'	15° 10'	4 150	823.4	1975/2007
Tisco	Arequipa	Caylloma	Tisco	71° 27'	15° 21'	4 175	693.3	1970/2007
Janacancha	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71° 46'	15° 11'	4 320	850.3	1970/2001
Cabanaconde	Arequipa	Caylloma	Cabanaconde	71° 58'	15° 37'	3 379	397.4	1990/2004

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

En la Tabla 20 se presenta la información de precipitación por microcuena donde se observa que la época de lluvias se da durante los meses de noviembre a marzo, es cuando las precipitaciones fluviales (lluvia, nevada, granizo) son muy intensas, que van desde 150.5 a 558.7 mm y viene acompañado por tempestades, relámpagos y vientos. Y la otra época de sequía se da entre los meses de abril a octubre donde las heladas son fuertes.

**Tabla 20: Precipitación Total Mensual Promedio de las Microcuencas**

Mes	pp. (mm) Microcuena Santiago	pp. (mm) Microcuena Trinidad
Enero	182.40	184.09
Febrero	163.10	164.61
Marzo	139.20	140.49
Abril	43.60	44.00
Mayo	4.30	4.33
Junio	3.00	3.02
Julio	4.70	4.74
Agosto	8.10	8.16
Setiembre	12.50	12.60
Octubre	20.50	20.69
Noviembre	40.90	41.28
Diciembre	90.40	91.24

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

## e.2. Temperatura

La temperatura se evaluó con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas: La Angostura, Caylloma, Cabanaconde e Imata, ubicadas en el departamento de Arequipa, provincia de Caylloma. En la Tabla 21 se presenta la temperatura media anual.

**Tabla 21: Estaciones con registro de Temperatura Media Anual**

Estación	Ubicación			Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)	Temp. Media Anual °C
	Dep.	Provincia	Distrito	Long.	Lat.		
La Angostura	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°38'	15°10'	4 150	5.4
Caylloma	Arequipa	Caylloma	Caylloma	71°46'	15°11'	4 420	5.3
Cabanaconde	Arequipa	Caylloma	Cabanaconde	71°58'	15°37'	3 379	11.8
Imata	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	71°05'	15°50'	4 519	3.6

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

En la Tabla 22 se presentan los datos de temperatura media mensual para las Microcuencas Santiago y Trinidad presentes en el área de estudio, se observa que la temperatura promedio mensual generado en la microcuenca Santiago oscila entre 2°C (junio y julio) a 4.2 °C (noviembre) y el promedio es 3.2 °C y la temperatura promedio mensual en la microcuenca Trinidad oscila entre 2 °C (junio) a 4.6 °C (diciembre), el promedio es de 3.7 °C.

**Tabla 22: Temperatura Media Mensual – Microcuencas**

Mes	Santiago	Trinidad
Enero	3.7	4.2
Febrero	3.7	4.2
Marzo	3.8	3.9
Abril	3.5	3.5
Mayo	2.6	3.2
Junio	2.0	2.0
Julio	2.0	4.2
Agosto	2.3	2.9
Setiembre	3.1	3.1
Octubre	3.7	4.2
Noviembre	4.2	4.0
Diciembre	4.0	4.6

FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

### e.3. Dirección y Velocidad del Viento

En el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM, para la velocidad y dirección del viento, se utilizó la data registrada en la estación Caylloma correspondiente al período de 2003-2012. Para elaborar la rosa de viento, se utilizó el programa WRPLOT.

La dirección del viento predominante va desde SW a NE que se encuentran en los siguientes intervalos de velocidades de 2.1 - 3.6 (72 por ciento) a 3.6 - 5.7 (13 por ciento) con una velocidad promedio de 2.81 m/s.

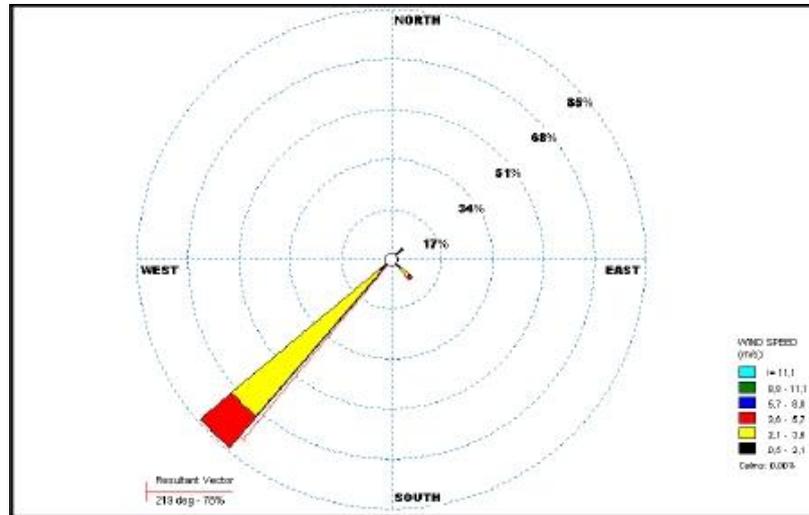


Figura 17: Rosa de viento de la Estación Caylloma  
FUENTE: Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

## f. Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal se determinó en base a lo descrito en el Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM. En dicho estudio los valores de cobertura fueron estimados mediante el análisis de imágenes satelitales y fotografías digitales. En cada zona de muestreo se tomó de tres a cinco fotografías que fueron luego analizadas para de esta forma obtener valores representativos de cada formación vegetal. (Ver anexo 07 – Plano 07)

### f.1. Pajonal

Presenta una topografía dada por laderas suaves a empinadas, áreas planas a colinadas, suelos arenoso - arcillosos y pedregosos. Recibe este nombre porque el ichu (gramíneas *Stipa obtusa* y *Stipa ichu*), domina el paisaje dando la apariencia de un suelo cubierto por pastos altos de color casi siempre amarillento.

Algunas veces el ichu se ve alternado por una gramínea de coloración plomiza muy punzante llamada iru-icchu (*Festuca orthophylla*), acompañadas por otras hierbas pequeñas que crecen en época de lluvia como *Plantago monticola*; los arbustos como el canlle (*Tetraglochin strictum*, especie indicadora de suelos erosionados).

La tola (géneros *Parastrephia* y *Baccharis*) se encuentra de forma muy dispersa en ésta comunidad. Fisonómicamente se constituye en un pajonal seco con escasos arbustos.



Figura 18: Pajonal de Puna

## f.2. Bofedal

Se encuentran en esta zona entre los 3 900 y 4 800 m.s.n.m. cuya topografía está dada por laderas suaves, áreas planas o con ligeras depresiones.

Son áreas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él.

La vegetación que aquí se encuentra está conformada básicamente por la champa (*Distichia muscoides*), el sillu - sillu (*Alchemilla pinnata*), el libro - libro (*Alchemilla diplophylla*), la chillihua (*Festuca dolichophylla*), o los crespillos (*Calamagrostis curvula*, *C. ovata* entre otras), que son especies de porte pequeño.



Figura 19: Bofedal

### f.3. Roquedal

Este hábitat se encuentra típicamente sobre los 4400 m.s.n.m., y está dominado por lecho rocoso o peña, el cual está escasamente cubierto por líquenes y musgos. Las especies representativas son: *Calamagrostis sp.*, y *Stipa ichu* (ichu), plantas que permanecen principalmente sólo como manchas residuales en las laderas rocosas empinadas.



Figura 20: Roquedal

### 4.3. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

Tomando en consideración las características naturales del sitio, así como los procesos y las características de las operaciones y componentes que se encuentran dentro del área de estudio se procedió a realizar un análisis de los posibles focos de contaminación el cual se detalla en la Tabla 23.

**Tabla 23: Análisis de los Posibles Focos de Contaminación**

COMPONENTE	DENOMINACIÓN	POSIBLE FOCO DE CONTAMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CATEGORÍA SEGÚN LA R. M. N° 085-2014 – MINAM
<b>Área de estudio 1</b>				
Depósito de Desmante	Depósito de Desmante N° 1	SI	Los depósitos de desmante contienen material de roca que en su composición tienen diversos metales, los cuales pueden ser dispersados por acción del viento y cuando entra en contacto con el agua de lluvia los metales pueden ser lavados e infiltrados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenajes</li> <li>• Zonas de almacenamiento de sustancias y residuos</li> <li>• Zona de carga y de descarga</li> </ul>
	Depósito de Desmante N° 2	SI		
	Depósito de Desmante N° 3	SI		
	Depósito de Desmante N° 4	SI		
<b>Área de estudio 2</b>				
Depósitos de Relaves	Depósito de Relaves	SI	Los depósitos de relaves son una mezcla de tierra, minerales, agua y roca. Su contenido de metales es alto y la dispersión por el viento es de alta probabilidad ya que está compuesta de sólidos finos. Asimismo cuando entran en contacto con el agua de lluvia pueden generar drenajes de agua ácida, si es que no se cuentan con un adecuado sistema de colecta de aguas de contacto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenajes</li> <li>• Zonas de almacenamiento de sustancias y residuos</li> <li>• Zona de carga y de descarga</li> </ul>

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### 4.4. LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO

Se evaluaron las condiciones actuales de las dos *Áreas de estudio* que conforman el presente trabajo. En el anexo 01 se adjuntan las Fichas de Levantamiento Técnico del Sitio.

##### 4.4.1. ÁREA DE ESTUDIO 1

En esta zona se encuentran cuatro depósitos de desmonte. El acceso al sitio es controlado solo en los componentes mineros; en la parte baja cerca al Río Santiago, la vegetación se encuentra concentrada y ahí se pueden observar algunos animales pastando, sin embargo no se observó ningún tipo de cultivo ni personas ajena a la mina habitando la zona de estudio. No se evidencio derrames ni decoloración de los suelos, olores extraños ni pozos de extracción de agua subterránea.

##### 4.4.2. ÁREA DE ESTUDIO 2

En la zona evaluada se encuentra el depósito de relaves. El acceso al sitio es controlado en la zona del componente. Se observan grandes extensiones de roquedal y vegetación en las márgenes del rio Santiago. Se pudo evidenciar excremento de auquénidos y viviendas a varios metros del componente. No se observa productos químicos, tanques de combustible o almacenamiento de sustancias peligrosas, tampoco se observan evidencias de derrames ni decoloración de los suelos, olores extraños ni pozos de extracción de agua subterránea.

##### 4.4.3. PRIORIZACIÓN Y VALIDACIÓN

Para la Priorización y validación de los focos potenciales se realizó una visita al sitio de interés y se procedió a evaluar los posibles focos de contaminación mediante la escala de evidencia dada por la R. M. N° 085-2014- MINAM “Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos”: Elemento orientativo N° 4, el cual se presenta en la Tabla 24.

**Tabla 24: Escala de Evidencia**

Nivel de Evidencia	Descripción
Confirmado +++	El foco está probado en campo y su existencia se infiere del análisis de los procesos industriales (diagrama de flujo)
Probable ++	El foco sólo se menciona en el diagrama de flujo o plano, no hay indicios en campo
Posible +/-	El foco se cita a menudo sin mención específica
Sin evidencias (no confirmado)	La evidencia es débil sólo una mención o sugerencia

FUENTE: Guía para Muestreo de Suelos – R. M. N° 085-2014-MINAM.

Los resultados de la inspección técnica para la caracterización y ponderación de focos se muestran en la Tabla 25. El mapa de focos se encuentra en el anexo 07 – Plano 08.

**Tabla 25: Caracterización y ponderación de focos potenciales**

N° en Mapa	Foco Potencial	Sustancias de interés más relevante	Clasificación según evidencia	Observaciones	
1	Depósito de desmonte N° 1	Metales: Arsénico, Plata Plomo y Zinc	+++		La evidencia es clara, el componente existe y está comprobado en campo.
2	Depósito de desmonte N° 2 y 3	Metales: Arsénico, Plata Plomo y Zinc	+++		La evidencia es clara, el componente existe y está comprobado en campo.
3	Depósito de desmonte N° 4	Metales: Arsénico, Plata Plomo y Zinc	+++		La evidencia es clara, el componente existe y está comprobado en campo.
4	Depósito de Relaves	Metales: Arsénico, Plata Plomo y Zinc	+++		La evidencia es clara, el componente existe y está comprobado en campo.

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### 4.5. CARACTERÍSTICAS DEL USO FUTURO

Para el uso futuro de las tierras las categorías de Terrenos con Pastos Naturales, Terrenos Húmedos y Terrenos improductivos que se estimaron en la clasificación del Uso Actual (ver ítem 2.1.2), se mantienen en área y porcentaje mientras que las áreas que han sido impactadas en el desarrollo de las actividades mineras serán recuperadas según lo establecido en los planes de cierre de las unidades mineras circundantes. Es así que las Categorías y subclases del uso futuro del suelo se presentan en la Tabla 26. (Ver Anexo 07 – Plano 09)

**Tabla 26: Categorías y subclases de uso futuro del suelo**

CATEGORÍA	SUB CLASES AGRUPADAS Y NO AGRUPADAS	SÍMBOLO
<b>UNIDADES PURAS</b>		
Terrenos con Praderas Naturales	Pajonal de Puna	Pp
Terrenos Húmedos	Vegetación Hidromórfica	Vh
Terrenos con Vegetación	Terrenos Recuperados con Vegetación	Trcv
Terrenos sin uso y/o improductivos	Terrenos Recuperados sin Vegetación	Trsv
	Afloramiento Rocoso	Ar
	Terrenos con Vegetación Esporádica	Tve
	Terrenos sin Vegetación	Tsv
<b>OTROS</b>		
Cuerpos de Agua	Lagunas	Lag.

FUENTE: Adaptado del Estudio de Impacto Ambiental Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1030 TMD a 1500 TMD aprobado con R.D. N° 173-2011-MEM-AAM

##### 4.5.1. TERRENOS RECUPERADOS CON VEGETACIÓN (TRCV)

Son áreas donde se ubicaron los componentes mineros y que serán rehabilitadas y revegetadas con especies de propias de la zona.

##### 4.5.2. TERRENOS RECUPERADOS SIN VEGETACIÓN (TRSV)

Son áreas donde se ubicaron los componentes mineros que de acuerdo a las características de su entorno no ameritan ser revegetados debido a que se ubican sobre roquedal. Sobre dichos terrenos se realizará trabajos de estabilidad y recuperación de suelos.

#### 4.6. MODELO CONCEPTUAL INICIAL

Con la finalidad de describir la relación existente entre los focos de contaminación, las posibles rutas y vías de transporte, así como los potenciales receptores, se ha elaborado un Modelo Conceptual el cual se muestra en la figura 21. En dicho modelo se indican las posibles efectos al ambiente, debido a su exposición a diversos contaminantes.

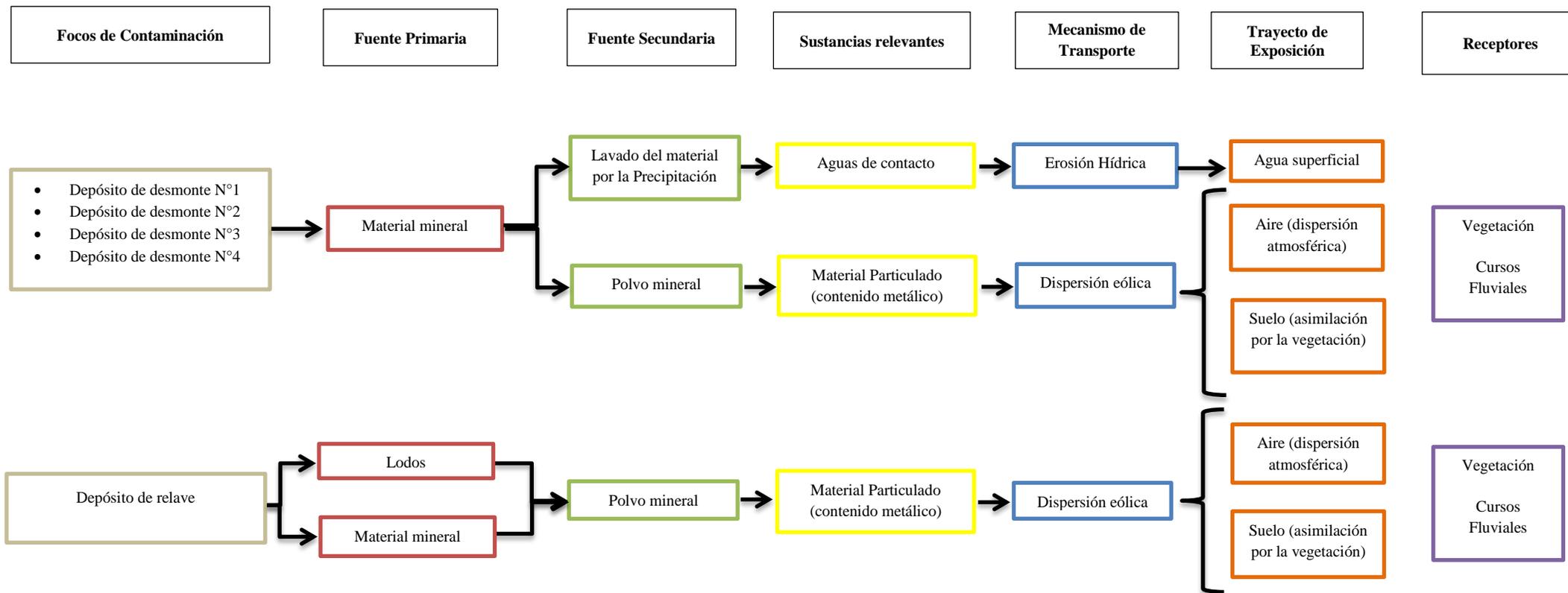


Figura 21: Modelo Conceptual Inicial

En los depósitos de desmonte y en los relaves, se dispone de material mineral en bruto o procesado, expuesto en superficie. En el caso de los depósitos de desmontes, el agua de lluvia se convierte en agua de contacto una vez que interacciona con el material. Estas aguas pueden escurrirse de forma superficial, sin embargo se observa que dichos componentes cuenta con un adecuado sistema de manejo de aguas de contacto y no contacto, evitando así la afección de los cursos de agua superficiales. Los posibles efectos negativos que pueden incurrir a los receptores finales del modelo: vegetación circundante y cursos fluviales, son los siguientes

#### **4.6.1. VEGETACIÓN CIRCUNDANTE**

Debido al efecto de las aguas de lluvia que podrían entrar en contacto con los depósitos de desmontes y relaves; sumados a la dispersión atmosférica de los polvos (material particulado) generada en dichas instalaciones hacia los suelos, existe una posible afectación a la vegetación circundante.

En este sentido, los efectos de las actividades realizadas en las instalaciones mineras antes mencionadas podrían llegar a ocasionar pérdida de la cobertura vegetal, debido a que las aguas y/o polvos podrían ser asimilados por la vegetación circundante, convirtiéndola en tierra estéril, removiendo la vegetación por los ácidos y en consecuencia erosionar el suelo.

#### **4.6.2. CURSOS DE AGUA**

Existe una posible afectación hacia los cursos de agua debido a que las aguas de lluvia que entran en contacto con las instalaciones y los efluentes podrían contactar con los cursos de agua circundantes, generando alteraciones en la composición de estas aguas.

Sin embargo, los depósitos de relaves observados cuentan con geomembranas que impermeabilizan las bases de los mismos, canales de coronación que preservan la calidad de las aguas no contactadas. Tanto las aguas de contacto, como los efluentes mineros y aguas de proceso son derivadas mediante canales o tuberías a la respectiva planta de tratamiento, evitando así la contaminación. Además es necesario tener en cuenta que en el caso de las aguas, la biodisponibilidad del elemento metálico en el medio determinará su afección al mismo.

Los depósitos de desmonte cuentan con geomembranas que impermeabilizan las bases de los mismos, impidiendo cualquier tipo de fuga. Por ello, el medio subterráneo no se vería afectado.

## 4.7. FUENTES EN EL ENTORNO

### 4.7.1. FUENTES NATURALES

Según el Boletín Geológico del cuadrángulo 31-s, el yacimiento sobre el que se encuentra el área de estudio es de tipo hidrotermal, de sulfuración intermedia. Las vetas están emplazadas en los volcánicos del grupo Tacaza. Los principales minerales de mina son principalmente Plata, Plomo, Cobre y Zinc en forma de sulfuros, sulfatos, sulfosales y óxidos asociados a otros elementos considerados como ganga tales como; silicatos (cuarzo, rodonita, actinolita), carbonatos (calcita y rodocrosita) y sulfuros (pirita) (INGEMMET, 1998).

Las principales vetas de explotación son: Flor de Mundo, Eureka, San Pedro, Bateas, San Cristóbal, Trinidad, etc. La composición de la veta Don Luis II, que atraviesa la formación en este punto, se caracteriza por presentar, entre otros roquedales rellenos de Hematites ( $Fe_2O_3$ ), Jarosita ( $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) y Limonita ( $FeO(OH)$ ), parches de Calcopirita ( $CuFeS_2$ ) y sulfuros como Galena ( $PbS$ ) y Esfalerita ( $ZnS$ ), Arsenopirita ( $FeAsS$ ) y sulfosales tipo Proustita ( $Ag_3AsS_3$ ) a modo de bandas.

### 4.7.2. FUENTES ANTROPOLÓGICAS

En la Provincia de Caylloma la principal actividades económicas es la actividad minera. El distrito está rodeado de Centros Mineros ricos en productos minerales como oro, plata, zinc, plomo y cobre.

## 4.8. PLAN DE MUESTREO

### 4.8.1. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE INTERÉS DEL MUESTREO

En base al Plano 09: Focos de Contaminación, al modelo conceptual presentado y teniendo en consideración los factores ambientales descritos, se obtuvieron las Áreas de Potencial Interés (API) las cuales se detallan en la Tabla 27 (Ver Anexo 07 – Plano 10A y Plano 10B).

**Tabla 27: Ubicación de Áreas de Potencial Interés**

Código en Mapa	API	Zona	Coordenadas (WSG 84)	
			Este	Norte
A	API A	Área de estudio 1	192 764	8 318 473
B	API B	Área de estudio 1	192 586	8 317 834
C	API C	Área de estudio 2	196 000	8 314 358

FUENTE: Elaboración propia (2017)

## 4.8.2. PLANEACIÓN Y PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO

### a. Tipo de Muestreo

El muestreo realizado es de tipo exploratorio o de identificación como primera fase dentro de un plan de descontaminación de suelos.

La técnica de muestreo elegida para el presente trabajo es aleatorio ya que solo se busca identificar si existe o no la contaminación, por lo que no se considera necesario alguna otra metodología más precisa.

### b. Localización, Distribución y Puntos de Muestreo

Los puntos de monitoreo del muestreo de identificación se detallan en la Tabla 28:

**Tabla 28: Puntos de Muestreo de Identificación**

Código	API	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
		Este	Norte	
ENSC1-1	API A	192 802	8 318 249	4 504
ENSC1-2		192 609	8 318 291	4 506
ENSC1-3		192 641	8 318 604	4 492
ENSC1-4		192 580	8 318 817	4 575
MSCNv11-1		192 618	8 318 428	4 505
ENSC2-2	API B	192 576	8 317 786	4 484
MSCNv12-1		192 592	8 317 822	4 486
MSCNv12-2		192 583	8 317 827	4 484
MSCNv12-4		192 585	8 317 847	4 482
ENZSF-1	API C	195 702	8 314 365	4 415
ENZSF-2		196 055	8 314 354	4 415
ENZSF-3		196 328	8 314 333	4 418
ENZSF-4		196 199	8 313 939	4 436
ENZSF-5		195 600	8 314 091	4 440

FUENTE: Elaboración propia (2017)

Los puntos de monitoreo del muestreo de nivel de fondo se detallan en la Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31 (Ver Anexo 07 – Plano 11A y 11B)

**Tabla 29: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2010**

Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
S-SCR-01	192 706	8 318 626	4 520
S-SCR-02	192 741	8 318 688	4 541
S-SCA-01	194 887	8 320 695	4 759
S-SCA-02	194 958	8 320 684	4 748

Continuación

S-SCA-03	194 944	8 320 734	4 751
S-SFR-01	195 816	8 314 301	4 422
S-SFR-02	195 816	8 314 243	4 425
S-SFR-03	195 751	8 314 340	4 426
S-SFR-04	195 820	8 314 366	4 426

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 30: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2013**

Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
MS-01	191 300	8 319 469	4 980
MS-02	191 500	8 318 100	4 970
MS-03	191 550	8 317 000	4 810
MS-04	193 050	8 321 985	4 950
MS-05	194 900	8 320 900	4 720
MS-06	193 300	8 320 100	4 855
MS-07	195 600	8 318 800	4 690
MS-08	195 000	8 317 700	4 820
MS-09	193 580	8 317 000	4 720
MS-10	191 300	8 321 025	4 805
MS-11	197 350	8 323 500	4 855

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 31: Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2014 - 2015**

Muestra	Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
		Este	Norte	
M-2	PNF-4	196 290	8 319 252	4593
	PNF-5	196 257	8 319 321	4597
	PNF-6	196 230	8 319 298	4600
M-3	PNF-7	195 401	8 318 474	4718
	PNF-8	195 488	8 318 449	4708
	PNF-9	195 599	8 318 443	4704
M-4	PNF-10	194 383	8 315 334	4428
	PNF-11	194 416	8 315 303	4428
	PNF-12	194 484	8 315 301	4426

FUENTE: Elaboración propia (2017)

Para el caso de los niveles de fondo muestreados en el 2010 y 2013 se tomaran como valores referenciales de la calidad natural de los suelos antes de la construcción de componentes mineros, la comparación se realizará con todos los puntos de identificación.

Los niveles de fondo muestreados entre el 2014 y 2015 se ubicaron en zonas estratégicas procurando exista la mayor similitud posible en cobertura vegetal y tipos de suelo con las

áreas de muestreo de identificación, para que la comparación con las zonas de nivel de fondo sean lo más certeras posibles.

En la Figura 22 se comparan las zonas de nivel de fondo entre el 2014 y 2015 y las muestras de identificación:

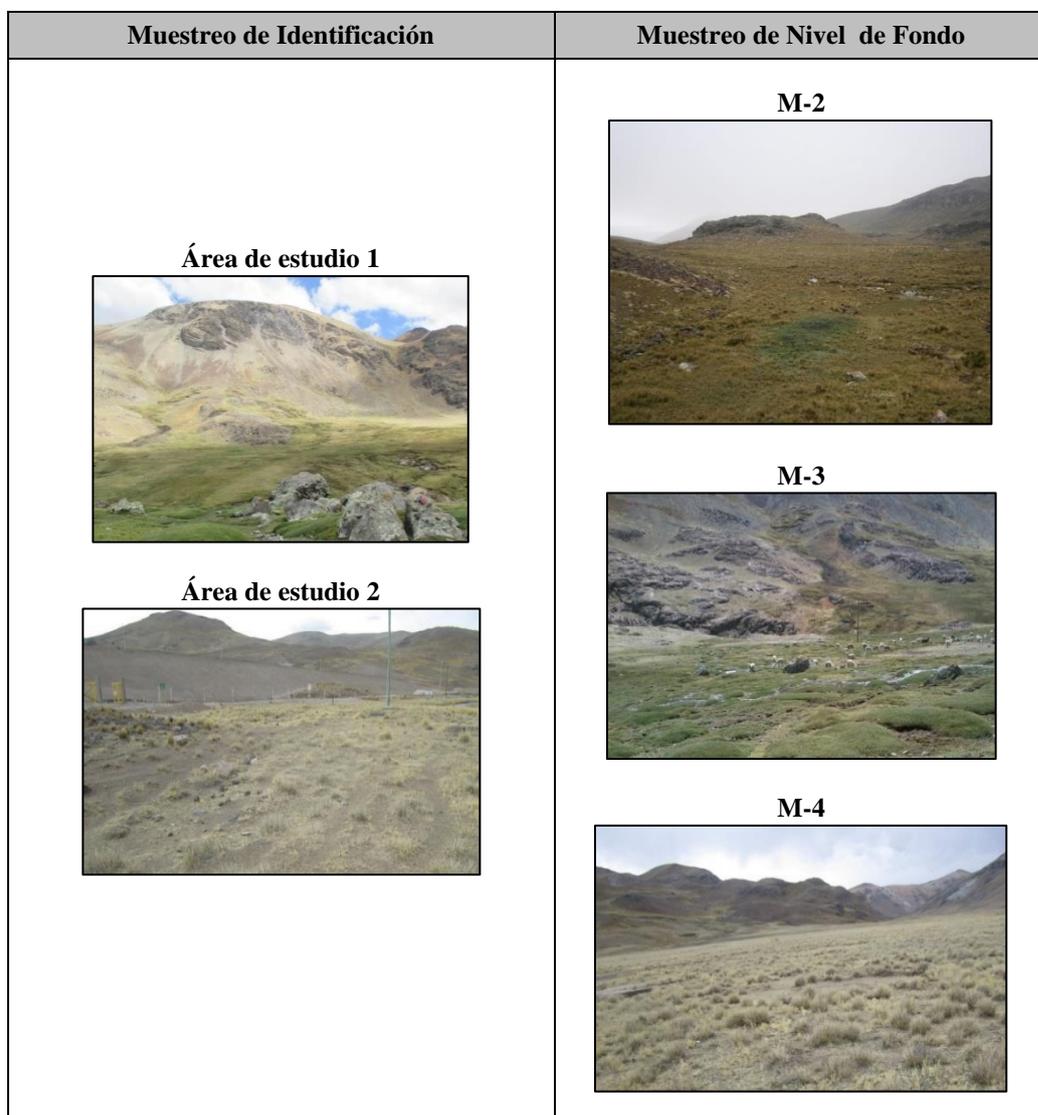


Figura 22: Comparación áreas de identificación y nivel de fondo 2014 - 2015  
FUENTE: Elaboración propia (2017)

### c. Profundidad del Muestreo

Debido a que los contaminantes de interés (metales pesados) no tienden a infiltrar a profundidad en los suelos, se está realizando un muestro de solo 10 cm de profundidad, lo cual tiene concordancia con lo establecido en la Guía para el Muestreo de Suelos aprobada mediante R. M. N° 085 -2014-MINAM donde se indica que para suelos de uso Comercial/Industrial/Extractivo la profundidad del muestreo será de 0 – 10 cm. El sistema

elegido para la toma de muestras solidas son las calicatas, puesto que su fácil y rápida aplicación presenta una clara ventaja frente a los otros sistemas existentes.

#### d. Tipo de Muestras

Para el muestro de identificación, las muestras colectadas son simples y superficiales. Para el muestreo de nivel de fondo las muestras colectadas son compuestas por tres submuestras y superficiales con el propósito de tener una muestra representativa de la zona.

#### e. Estimación del Número Total de Muestras

En la Tabla 32 se indica el número mínimo de puntos de muestreo por extensión de las áreas de interés para ello se consideraron las condiciones de cada zona según lo observado en el levantamiento técnico del sitio.

**Tabla 32: Número de Puntos de Monitoreo por cada API**

Código en Mapa	API	Número De Puntos De Monitoreo	Puntos
A	API A	5	ENSC1-1
			ENSC1-2
			ENSC1-3
			ENSC1-4
			MSCNv11-1
B	API B	4	ENSC2-2
			MSCNv12-1
			MSCNv12-2
			MSCNv12-4
C	API C	5	ENZSF-1
			ENZSF-2
			ENZSF-3
			ENZSF-4
			ENZSF-5

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### f. Parámetros de Campo

Los parámetros de campo tomadas para el estudio de suelos fueron la textura y el color. El parámetro de olor se registró, sin embargo no se percibió ningún tipo de olor en específico en la toma de muestras.

La textura en algunos casos se mandó a analizar a CORPLAB, laboratorio acreditado por INDECOPI y en otros casos se tomó in situ mediante la técnica del tacto. El parámetro de

color se tomó in situ mediante la ayuda de la Tabla de Munsell. Los colores obtenidos se detallan en las fichas de cada punto de muestreo.

En la Tabla 33 y la Tabla 34 se detallan los parámetros que fueron analizados en laboratorio.

**Tabla 33: Parámetros de Ensayo de las Estaciones de Muestreo de Nivel de Fondo**

Muestras	Parámetros de Ensayo
M-2, M-3 y M-4.	Textura, pH, PCB total, VOCs, Pesticidas organoclorados, HTP, BTEX, Cianuro libre, Cromo hexavalente, Mercurio total, Metales totales.
S-SCR-01, S-SCR-02, S-SCA-01, S-SCA-02, S-SCA-03, S-SFR-01, S-SFR-02, S-SFR-03 y S-SFR-04	Metales totales, Prueba ABA.
MS-01, MS-02, MS-03, MS-04, MS-05, MS-06, MS-07, MS-08, MS-09, MS-10 y MS-11	PCB total, VOCs, Pesticidas organoclorados, BTEX,, PAHs, HTP, Cianuro libre, Cromo hexavalente, Mercurio total, Metales totales

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 34: Parámetros de Ensayo de las Estaciones de Muestreo de Identificación**

Muestras	Parámetros de Ensayo
ENSC1-1, ENSC1-2, ENSC1-3, ENSC1-4, MSCN <sub>v</sub> 11-1, ENSC2-2, MSCN <sub>v</sub> 12-1, MSCN <sub>v</sub> 12-2, MSCN <sub>v</sub> 12-4, ENZSF-1, ENZSF-2, ENZSF-3, ENZSF-4, ENZSF-5.	Cianuro libre, Cromo hexavalente, Mercurio total, Metales totales.

FUENTE: Elaboración propia (2017)

### **g. Equipos de Muestreo de Suelos**

El encargado del monitoreo de suelos fue CORPLAB, laboratorio acreditado por INDECOPI, por lo que de acuerdo a su sistema de gestión, este cuenta con un “Procedimiento Operativo Standard N° 036: Muestreo de Suelos” en el cual se mencionan una serie de equipos, herramientas y materiales que incluyen:

#### **g.1. Herramientas:**

- Lampas de acero
- Pico de acero
- Picota de geólogo o pico pequeño
- Kit de herramientas para muestreo de suelos: Barrenos (augers), Muestreador de núcleos de suelo (soil core sampler), Barreno de tornillo (screw auger), Tubo muestreador (probe sampler), Espátulas de acero inoxidable y/o plástico

(scoops)

## **g.2. Materiales**

- Balde
- Jarra
- Agua de caño
- Agua destilada o desionizada
- Picetas
- Detergente libre de fosfatos
- Manta o lienzo de plástico de 2x2m
- Papel toalla
- Cinta métrica (wincha) de 2m
- bolsas ziplock de polietileno densas en cantidad suficiente
- Guantes de látex (exentos de talco) o nitrilo
- Cadenas de custodia para suelos, lodos, barros y sedimentos
- Cuaderno y/o formatos de campo
- Coolers o hieleras
- Ice packs
- Cinta de embalaje
- Cuchilla

## **g.3. Equipos**

- GPS
- Cámara fotográfica

## **h. Medidas para Asegurar el Muestreo de Suelos**

CORPLAB en su “Procedimiento Operativo Standard N° 036: Muestreo de Suelos” enlista una serie de medidas para asegurar la calidad del muestreo, dentro de los cuales se tiene:

- Duplicado de Campo: Muestra que se toma en el mismo punto, en la misma porción de suelo y al mismo momento que la muestra original. El número de muestras duplicadas representa el 10 por ciento del total del grupo de muestras analizadas

## i. Preservación de Las Muestras

CORPLAB en su Procedimiento Operativo Standard N° 036: Muestreo de Suelos indican las medidas de conservación, registro y transporte de muestras de suelos:

- Las muestras tapadas herméticamente y rotuladas deben colocarse en los coolers, en posición vertical, con ice packs a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
- Registrar las muestras en la Cadena de Custodia. En su transporte al Laboratorio, hasta su entrega, toda muestra debe estar siempre acompañada de su respectiva Cadena de Custodia.
- Una vez que haya empacado y refrigerado las muestras, cierre los coolers, embálelos con cinta adhesiva y/o plastifilm (o stretch film) y transpórtelos lo antes posible al Laboratorio, acompañado las muestras con su correspondiente Cadena de Custodia. Los coolers deberán tener etiquetas que señalen la posición correcta en que deben ser transportados.

## j. Tipo de Recipientes y Volumen de las Muestras

CORPLAB en su “Procedimiento Operativo Standard N° 036: Muestreo de Suelos” detalla las medidas de colección y preservación de muestras, las cuales se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35: Colección y Preservación de Muestras**

Determinación	Envase	Tamaño (gr)	Conservación	Tiempo Máximo de Conservación
<b>Parámetros Generales</b>				
Cianuro total / Cianuro libre	BP	100	4 °C +/- 2 °C	12 días
<b>Parámetros Inorgánicos</b>				
Metales Totales (ICP-OES) + Hg (Vapor frío)	BP	100	≤ 6 °C	6 meses

BP= Bolsa de Plástico; P= Envase de Plástico; V= Envase de Vidrio

FUENTE: Laboratorio CORPLAB

## k. Plan de Salud y Seguridad del Operario

CORPLAB en su “Procedimiento Operativo Standard N° 036: Muestreo de Suelos” detalla una serie de medidas para preservar la seguridad del operador.

**I. Plan de Cadena de custodia**

										FOP 005 POS 007				
CADENA DE CUSTODIA / SUELOS, LODOS, BARROS Y SEDIMENTOS														
FECHA DE MUESTREO		: .....				Periódico <input type="checkbox"/>		Grupo N°: .....						
PERSONA DE CONTACTO		: .....				No Periódico <input type="checkbox"/>		Hoja N° ..... de .....						
CLIENTE/ TELF.		: .....						Orden de Servicio N°: .....						
LUGAR		: .....												
PROYECTO		: .....												
Estación de Muestreo	Código de Laboratorio	Hora	Tipo de muestra	Georeferencia (UTM)	Envase (Plást., Vidrio)	Parámetros de Análisis de Laboratorio							Profundidad del Muestreo	Observaciones (color, olor, cuerpos extraños, etc.)
<b>OBSERVACIONES:</b>														
										<input type="checkbox"/> Muestreado por Corplab				
Firma del responsable del muestreo Nombre: ..... Fecha: .....					Firma del supervisor en campo Nombre: ..... Fecha: .....					Firma de Recepción de Muestras Nombre: ..... Fecha: ..... Hora: .....				

Figura 23: Cadena de Custodia  
 FUENTE: Laboratorio CORPLAB

#### **4.9. RESULTADOS DEL MUESTREO**

Para el presente monitoreo se han considerado los criterios descritos en la Guía para Muestreo de Suelos aprobado mediante R. M. N° 085-2014-MINAM. En el anexo 02 se muestran las fichas de monitoreo y en el anexo 03 se muestran los resultados.

##### **4.9.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

A continuación, en la Tabla 36 se muestran los métodos de ensayo aplicados en laboratorio de los parámetros motivo de interés en el presente trabajo.

**Tabla 36: Referencias de los Métodos de Ensayo**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de Referencia</b>
Cianuro Libre	EPA 9013-A, 2004 /SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- F, 22nd Ed 2012
Cromo Hexavalente	DIN 19734, 1999
Mercurio	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007
Metales	EPA 3050 B 1996

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### 4.9.2. RESULTADOS DEL MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN Y NIVELES DE FONDO

En la Tabla 37 se presentan los resultados obtenidos para los metales de interés.

**Tabla 37: Tabla de Resultados – Muestras de identificación vs Nivel de Fondo**

API	Punto de Monitoreo	Parámetros Evaluados (mg/kg)							Exceden los ECA*
		CN libre mg/Kg	Arsénico mg/Kg	Bario mg/Kg	Cadmio mg/Kg	Cromo VI mg/Kg	Mercurio mg/Kg	Plomo mg/Kg	
API A	ENSC1-1	< 0.2	66.75	106.9	2.07	< 0.2	0.19	122.8	Ninguno
	ENSC1-2	< 0.2	92.02	97.23	4.38	< 0.2	0.97	114.7	Ninguno
	ENSC1-3	< 0.2	150.7	132	4.04	< 0.2	2.09	190	As
	ENSC1-4	< 0.2	116	89.7	4.4	< 0.2	0.48	171.8	Ninguno
	MSCNv11-1	NA	68.97	101.5	<1.0	NA	0.06	13.87	Ninguno
API B	ENSC2-2	< 0.2	150.7	154.2	< 1.00	< 0.2	0.26	40.16	As
	MSCNv12-1	NA	79.92	104.4	1.22	NA	0.04	15.74	Ninguno
	MSCNv12-2	NA	128.9	83.66	1.46	NA	0.03	62.13	Ninguno
	MSCNv12-4	<0.5	140.1	200	2.1	<0.2	0.61	96.3	As
API C	ENZSF-1	< 0.2	81.92	119.3	< 1.00	< 0.2	0.15	39.83	Ninguno
	ENZSF-2	< 0.2	323.6	163.7	1.11	< 0.2	0.09	42.63	As
	ENZSF-3	< 0.2	33.41	146.1	< 1.00	< 0.2	0.21	22.62	Ninguno
	ENZSF-4	< 0.2	17.37	101.7	< 1.00	< 0.2	0.28	16.79	Ninguno
	ENZSF-5	< 0.2	12.06	274.4	< 1.00	< 0.2	0.1	18.78	Ninguno
Nivel de fondo	M-2	<0.2	392.9	292.3	6.25	0.8	13.36	222.5	As
	M-3	<0.2	96.3	57.68	<1.00	0.7	0.53	86.77	Ninguno
	M-4	<0.5	71.9	114.2	4.7	<0.2	0.79	182.2	Ninguno
	S-SCR-01	NA	87.52	190.31	1.95	NA	<0.01	48.47	Ninguno
	S-SCR-02	NA	99.63	113.73	1.71	NA	<0.01	40.64	Ninguno
	S-SCA-01	NA	262.59	298.74	2.07	NA	<0.01	32.63	As

Continuación

Nivel de fondo	S-SCA-02	NA	177.47	207.18	2.16	NA	<0.01	40.66	As
	S-SCA-03	NA	184.89	172.73	1.59	NA	<0.01	99.79	As
	S-SFR-01	NA	15.93	369.15	1.69	NA	<0.01	20.63	Ninguno
	S-SFR-02	NA	15.45	430.62	1.90	NA	<0.01	21.86	Ninguno
	S-SFR-03	NA	197.79	147.75	1.69	NA	<0.01	27.56	As
	S-SFR-04	NA	63.72	168.83	1.10	NA	<0.01	24.00	Ninguno
	MS-01	1.8	131.7	187.1	1.5	0.3	<0.2	332.2	Ninguno
	MS-02	2.8	193.4	131.5	<1.0	0.4	<0.2	<10	As
	MS-03	2.7	50.5	164.9	<1.0	0.6	<0.2	11.7	Ninguno
	MS-04	4.7	40.4	66.2	1.6	0.3	<0.2	26.0	Ninguno
	MS-05	13.0	17.9	173.9	<1.0	0.3	<0.2	13.0	Ninguno
	MS-06	3.6	31.2	91.4	1.3	<0.2	<0.2	20.2	Ninguno
	MS-07	12.9	219.3	98.3	2.9	0.5	<0.2	332.8	CN libre, As
	MS-08	15.1	74.7	126.1	2.4	0.7	<0.2	144.3	CN libre
	MS-09	11.4	120.5	146.8	3.1	<0.2	<0.2	105.4	CN libre
MS-10	5.5	686.6	101.9	1.4	<0.2	<0.2	14.7	As	
MS-11	16.6	15.2	120.4	<1.0	<0.2	<0.2	17.9	CN libre	
<b>ECA para Suelo -D.S. 002-2013-MINAM</b>		<b>8</b>	<b>140</b>	<b>2000</b>	<b>22</b>	<b>1.4</b>	<b>24</b>	<b>1200</b>	

(\*) Estándares de Calidad Ambiental para Suelos aprobado mediante D. S. N° 002-2013-MINAM

NA: No analizado

Elaboración propia (2017)

### **a. Arsénico Total**

Se analizó el Arsénico Total observando que algunos de los valores sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de la siguiente forma:

- **API A y B – Área de estudio 1.-** En el API A solo la estación ENSC1-3 registra un valor de arsénico total (150.7 mg/Kg) que supera el ECA suelo, cabe mencionar que dicho punto se encuentra cercano al Depósito de Desmonte N° 01. Asimismo, en el API B, los valores registrados en las estaciones ENSC2-2 y MSCNv12-4 superan ligeramente el Estándar mencionado. El nivel de fondo M-2 muestreado entre 2014 y 2015, registra un valor de arsénico total que supera el ECA con 392.9 mg/Kg, y en comparación, todos los valores del muestreo de identificación en las dos API se encuentran por debajo de dicho nivel de fondo. Asimismo, en los niveles de fondo muestreados en el 2010 se encuentran concentraciones de arsénico total que van desde 177.47 mg/Kg hasta 262.59 mg/Kg, valores que superan el ECA suelo mencionado; de igual forma en los niveles de fondo muestreados en 2013 se encontraron concentraciones desde 120.5 mg/Kg hasta un pico de 686.6 mg/Kg. Dichos niveles corroboran la alta concentración de arsénico natural en los suelos de la zona. En la figura N° 23 se muestra las gráfica de concentración del arsénico total en las API del *Área de estudio 1*.

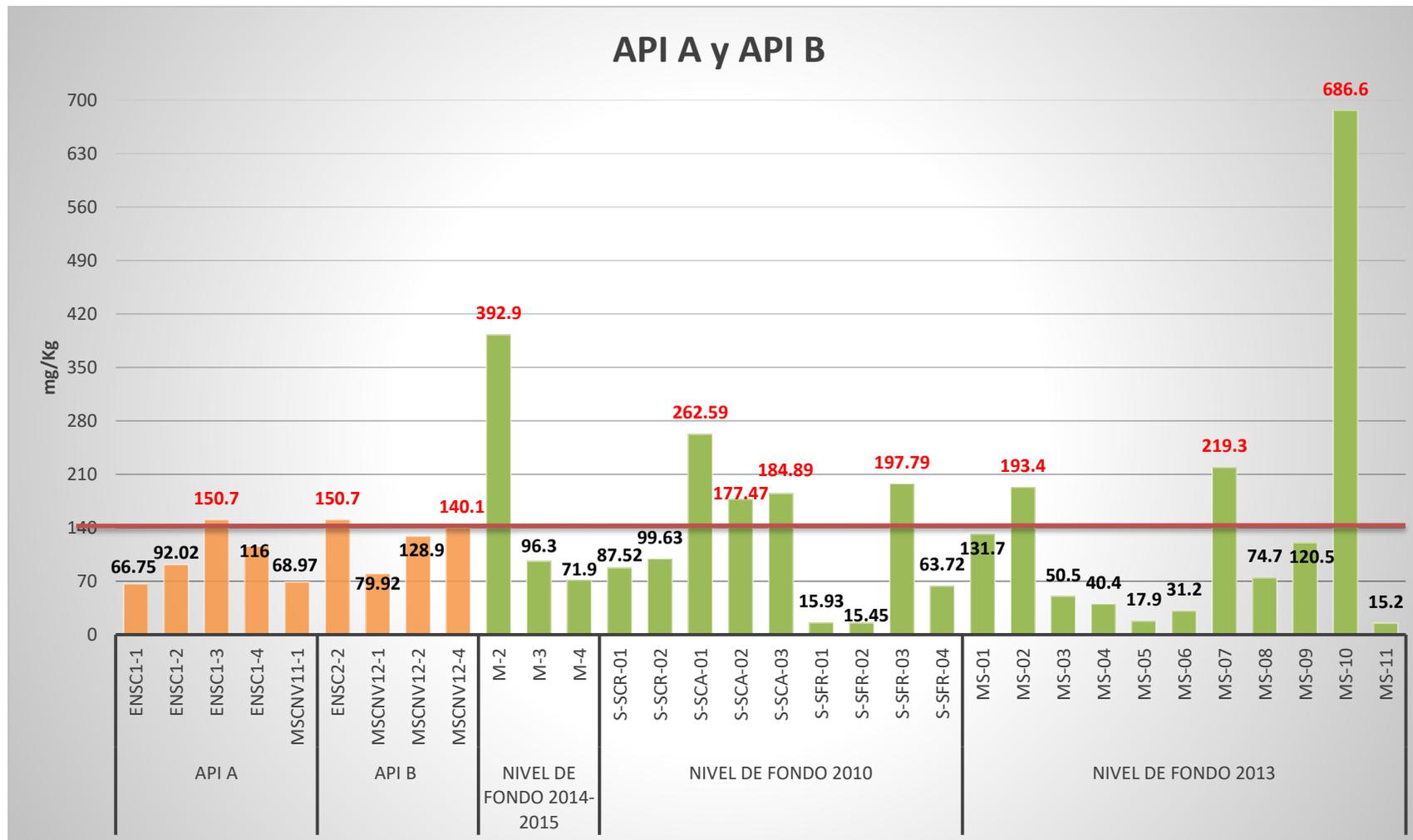


Figura 24: Concentración Arsénico Total – Área de estudio 1  
 FUENTE: Elaboración propia (2017)

- **API C – Área de estudio 2.-** En el API C, solo la estación ENZSF-2 registra un valor de arsénico total que supera el ECA suelos con 323.6 mg/Kg. Dicho punto se encuentra al norte del Depósito de Relaves, bajando hacia la quebrada del río Santiago. El nivel de fondo M-2 muestreado entre 2014 y 2015, registra un valor de arsénico total que supera el ECA con 392.9 mg/Kg, y en comparación, todos los valores del muestreo de identificación del área C se encuentran por debajo del nivel de fondo. Asimismo, en los niveles de fondo muestreados en el 2010 se encuentran concentraciones de arsénico total que van desde 177.47 mg/Kg hasta 262.59 mg/Kg, valores que superan el ECA suelo mencionado; de igual forma en los niveles de fondo muestreados en 2013 se encontraron concentraciones desde 120.5 mg/Kg hasta un pico de 686.6 mg/Kg. Dichos niveles corroboran la alta concentración de arsénico natural en los suelos de la zona. En la figura N° 24 se muestra las gráfica de concentración del arsénico en el API del *Área de estudio 2*.

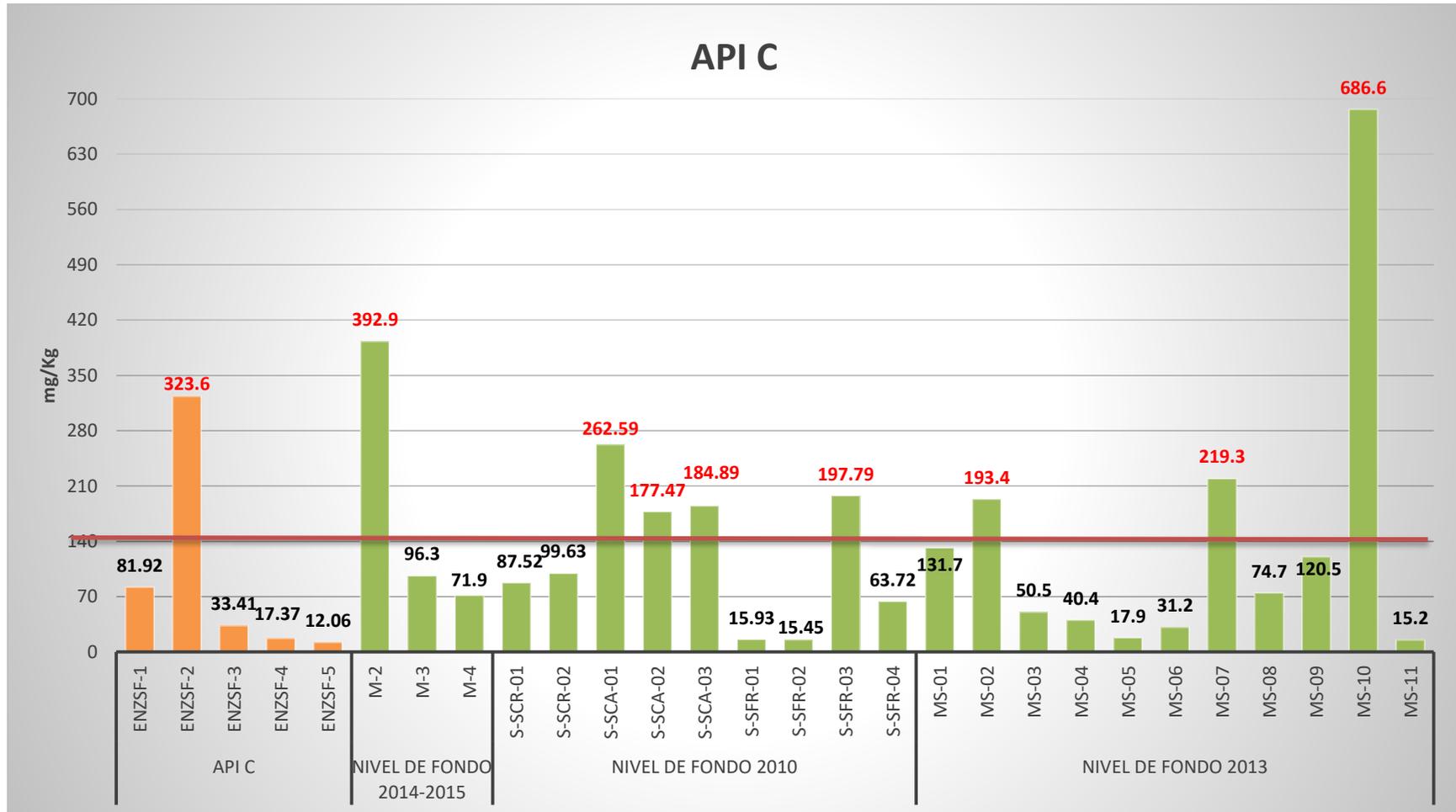


Figura 25: Concentración Arsénico Total – Área de estudio 2  
 FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### **4.10. ANÁLISIS DE DATOS**

Para el análisis estadístico se utilizaron todos los registros de metales totales que se analizaron en las muestras tanto de identificación como de nivel de fondo (Ver anexo 03).

##### **4.10.1. CUANTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS DE LA CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (SOQI-CCME)**

La evaluación espacial de la calidad ambiental del suelo a través del cálculo SoQI-CCME se realizó en el análisis de las muestras de identificación de las *Área de estudio 1* y *Área de estudio 2* y el análisis de los *Niveles de Fondo*; los índices resultados se compararon para determinar si existe un efecto negativo en la calidad ambiental del suelo producto de las operaciones mineras que se encuentran en el área de estudio.

El cálculo del SoQI-CCME se hizo a través del *Soil Quality Index Calculator*, un software basado en la *Canadian Council of Ministers of the Environment Soil Quality Index 1.0, Technical Report* que opera mediante el Excel MS para cálculo sistemático del SoQI-CCME.

Para la obtención del SoQI-CCME, en la hoja *DATA* se introdujeron los resultados disponibles, en los casos de resultados faltantes se dejará la celda en blanco y los valores que se encuentren por debajo del límite de detección se coloca con el signo “<” (Ver Anexo 05).

En la pestaña *Guidelines* se indican los valores del Estándar de Calidad Ambiental para suelos aprobados mediante D.S. N° 002-2013-MINAM, para el caso de los parámetros que no cuentan con normativa nacional, se usarán los valores guías del estándar internacional “*Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*”. Aquellos parámetros que no se encuentran regulados por estándares nacionales ni por los estándares internacionales “*Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*” se dejaron en blanco.

Finalmente, en la pestaña *Data*, se corren los datos con el botón *Compute*, y como resultado se obtiene el SoQI-CCME. En la Tabla 38 se presentan los valores de los SoQI-CCME obtenidos en los *Niveles de Fondo* y en las *Área de estudio 1* y *Área de estudio 2*.

**Tabla 38: Índices de Calidad Ambiental de Suelo - SoQI**

Cálculos	Área de estudio 1	Área de estudio 2	Nivel de Fondo
SoQI	79	67	70
Rank	Baja preocupación	Media preocupación	Baja preocupación
F1 (Alcance)	25.0	5.3	33.3
F2 (Frecuencia)	5.0	1.1	5.8
F3 (Amplitud)	25.7	56.7	40.3
Total de ensayos	180	95	396
Ensayos Fallidos	9	1	23
Suma de incumplimiento	3.1	1.3	15.5

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### 4.10.2. CORRELACIÓN ENTRE PARÁMETROS

Se analizó la correlación entre parámetros para los tres casos: *Área de estudio 1*, *Área de estudio 2* y *Nivel de fondo*.

Los parámetros que casi no registraron valores fueron: Antimonio total, Bismuto total, Estaño total, Molibdeno total, Selenio total, Silicio total y Talio total, por lo que no se incluyeron dentro de la Matriz de Correlaciones. En los casos de resultados faltantes se dejara la celda en blanco y los valores que se encuentren por debajo del límite de detección se coloca el valor del límite sin el símbolo “<”.

Como primer paso se analizó la normalidad de los datos registrados mediante el programa XLSTAT, donde se usaron las pruebas: Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors y Jarque-Bera. (Ver anexo 04).

De los resultados podemos determinar que una gran parte de los datos no siguen una distribución normal, por lo que el análisis de correlación se realizará mediante una matriz de Spearman.

En la Tabla 39, la Tabla 40 y la Tabla 41 se presentan las matrices de correlación de Spearman, en el caso del *Área de estudio 1* y los *Niveles de Fondo*, los valores superiores a 0.7 (valores en rojo) presentan una correlación muy fuerte, negativa y positiva según el signo que le corresponde.

Para el caso del *Área de estudio 2* los valores iguales a 1.0 presentan una correlación perfecta, negativa y positiva según el signo que le corresponde.

**Tabla 39: Matriz de correlaciones (Spearman) – Área de estudio 1**

Variables	Al	As	Ba	Be	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Ag	Pb	K	Na	Ti	V	Zn
Al	<b>1.00</b>	0.23	0.53	0.47	0.68	-0.30	0.45	0.32	0.03	0.63	0.57	0.38	0.62	0.68	0.55	0.03	-0.03	0.48	-0.04	0.18	0.12	<b>0.78</b>	<b>0.72</b>	<b>0.83</b>	-0.27
As	0.23	<b>1.00</b>	0.38	0.37	0.68	0.12	0.35	0.23	0.37	0.46	0.45	0.09	0.56	0.37	0.39	0.44	0.45	0.10	0.16	0.25	-0.17	0.29	0.35	0.34	0.18
Ba	0.53	0.38	<b>1.00</b>	0.35	0.23	-0.22	0.33	-0.15	-0.25	0.12	0.55	0.25	0.25	0.19	0.03	0.10	0.40	0.00	0.02	0.02	0.52	<b>0.72</b>	0.55	0.27	-0.18
Be	0.47	0.37	0.35	<b>1.00</b>	0.43	0.62	<b>0.98</b>	<b>0.73</b>	0.68	<b>0.80</b>	<b>0.93</b>	<b>0.73</b>	0.37	<b>0.83</b>	<b>0.85</b>	<b>0.80</b>	0.65	<b>0.83</b>	0.69	<b>0.78</b>	-0.28	0.65	<b>0.78</b>	0.70	0.63
B	0.68	0.68	0.23	0.43	<b>1.00</b>	-0.09	0.42	0.58	0.30	<b>0.82</b>	0.43	0.40	<b>0.88</b>	<b>0.75</b>	<b>0.72</b>	0.27	-0.05	0.50	-0.03	0.25	-0.12	0.55	0.58	<b>0.77</b>	-0.05
Cd	-0.30	0.12	-0.22	0.62	-0.09	<b>1.00</b>	0.59	0.47	<b>0.85</b>	0.39	0.43	0.32	-0.13	0.40	0.50	<b>0.86</b>	0.67	0.54	<b>0.89</b>	<b>0.85</b>	-0.66	-0.13	0.33	0.18	<b>1.00</b>
Ca	0.45	0.35	0.33	0.98	0.42	0.59	<b>1.00</b>	<b>0.75</b>	0.67	<b>0.78</b>	<b>0.95</b>	<b>0.78</b>	0.33	<b>0.83</b>	<b>0.83</b>	<b>0.82</b>	0.67	<b>0.82</b>	0.69	<b>0.77</b>	-0.30	0.68	<b>0.77</b>	0.68	0.60
Co	0.32	0.23	-0.15	0.73	0.58	0.47	0.75	<b>1.00</b>	0.62	<b>0.85</b>	0.55	<b>0.83</b>	0.43	<b>0.81</b>	<b>0.90</b>	0.62	0.15	<b>0.90</b>	0.41	0.57	-0.33	0.43	0.47	0.60	0.45
Cu	0.03	0.37	-0.25	0.68	0.30	0.85	0.67	0.62	<b>1.00</b>	0.68	0.53	0.32	0.15	0.66	<b>0.75</b>	<b>0.87</b>	0.60	0.68	<b>0.85</b>	<b>0.92</b>	<b>-0.87</b>	-0.02	0.47	0.50	<b>0.87</b>
Cr	0.63	0.46	0.12	0.80	0.82	0.39	0.78	0.85	0.68	<b>1.00</b>	0.70	0.67	0.68	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	0.65	0.25	<b>0.88</b>	0.46	0.70	-0.42	0.57	<b>0.78</b>	<b>0.90</b>	0.42
Sr	0.57	0.45	0.55	0.93	0.43	0.43	0.95	0.55	0.53	0.70	<b>1.00</b>	0.65	0.38	<b>0.76</b>	<b>0.72</b>	<b>0.72</b>	<b>0.72</b>	0.65	0.59	0.67	-0.18	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	0.70	0.45
P	0.38	0.09	0.25	0.73	0.40	0.32	0.78	0.83	0.32	0.67	0.65	<b>1.00</b>	0.25	<b>0.71</b>	0.70	0.57	0.27	<b>0.80</b>	0.38	0.45	0.02	0.68	0.55	0.48	0.28
Fe	0.62	0.56	0.25	0.37	0.88	-0.13	0.33	0.43	0.15	0.68	0.38	0.25	<b>1.00</b>	0.62	0.58	0.13	-0.15	0.33	-0.18	0.13	0.05	0.57	0.58	<b>0.73</b>	-0.07
Li	0.68	0.37	0.19	0.83	0.75	0.40	0.83	0.81	0.66	0.98	0.76	0.71	0.62	<b>1.00</b>	<b>0.96</b>	0.68	0.31	<b>0.90</b>	0.52	<b>0.75</b>	-0.41	0.64	<b>0.86</b>	<b>0.93</b>	0.42
Mg	0.55	0.39	0.03	0.85	0.72	0.50	0.83	0.90	0.75	0.98	0.72	0.70	0.58	0.96	<b>1.00</b>	0.70	0.30	<b>0.93</b>	0.54	<b>0.75</b>	-0.47	0.52	<b>0.73</b>	<b>0.85</b>	0.52
Mn	0.03	0.44	0.10	0.80	0.27	0.86	0.82	0.62	0.87	0.65	0.72	0.57	0.13	0.68	0.70	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	0.67	<b>0.91</b>	<b>0.92</b>	-0.62	0.25	0.62	0.45	<b>0.87</b>
Hg	-0.03	0.45	0.40	0.65	-0.05	0.67	0.67	0.15	0.60	0.25	0.72	0.27	-0.15	0.31	0.30	0.80	<b>1.00</b>	0.27	<b>0.81</b>	0.68	-0.38	0.23	0.45	0.17	0.68
Ni	0.48	0.10	0.00	0.83	0.50	0.54	0.82	0.90	0.68	0.88	0.65	0.80	0.33	0.90	0.93	0.67	0.27	<b>1.00</b>	0.60	<b>0.75</b>	-0.40	0.47	0.67	<b>0.73</b>	0.53
Ag	-0.04	0.16	0.02	0.69	-0.03	0.89	0.69	0.41	0.85	0.46	0.59	0.38	-0.18	0.52	0.54	0.91	0.81	0.60	<b>1.00</b>	<b>0.94</b>	<b>-0.71</b>	0.04	0.51	0.33	<b>0.89</b>
Pb	0.18	0.25	0.02	0.78	0.25	0.85	0.77	0.57	0.92	0.70	0.67	0.45	0.13	0.75	0.75	0.92	0.68	0.75	0.94	<b>1.00</b>	<b>-0.73</b>	0.18	0.70	0.60	<b>0.87</b>
K	0.12	-0.17	0.52	-0.28	-0.12	-0.66	-0.30	-0.33	-0.87	-0.42	-0.18	0.02	0.05	-0.41	-0.47	-0.62	-0.38	-0.40	-0.71	-0.73	<b>1.00</b>	0.33	-0.20	-0.32	-0.67
Na	0.78	0.29	0.72	0.65	0.55	-0.13	0.68	0.43	-0.02	0.57	0.78	0.68	0.57	0.64	0.52	0.25	0.23	0.47	0.04	0.18	0.33	<b>1.00</b>	<b>0.73</b>	0.67	-0.12
Ti	0.72	0.35	0.55	0.78	0.58	0.33	0.77	0.47	0.47	0.78	0.82	0.55	0.58	0.86	0.73	0.62	0.45	0.67	0.51	0.70	-0.20	0.73	<b>1.00</b>	<b>0.88</b>	0.37
V	0.83	0.34	0.27	0.70	0.77	0.18	0.68	0.60	0.50	0.90	0.70	0.48	0.73	0.93	0.85	0.45	0.17	0.73	0.33	0.60	-0.32	0.67	0.88	<b>1.00</b>	0.22
Zn	-0.27	0.18	-0.18	0.63	-0.05	1.00	0.60	0.45	0.87	0.42	0.45	0.28	-0.07	0.42	0.52	0.87	0.68	0.53	0.89	0.87	-0.67	-0.12	0.37	0.22	<b>1.00</b>

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 40: Matriz de correlaciones (Spearman) – Área de estudio 2**

VARIABLES	Al	As	Ba	Be	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Pb	K	Na	Ti	V	Zn
Al	<b>1.00</b>	<b>-0.90</b>	0.30	-0.30	-0.60	-0.71	0.70	-0.60	-0.60	0.10	<b>1.00</b>	0.30	-0.60	0.89	0.10	-0.70	0.30	0.10	-0.70	0.30	0.20	0.60	0.60	-0.60
As	-0.90	<b>1.00</b>	-0.10	0.40	0.70	0.71	-0.40	0.70	0.70	0.00	<b>-0.90</b>	-0.10	0.70	-0.67	0.00	<b>0.90</b>	-0.40	0.00	<b>0.90</b>	-0.40	0.10	-0.50	-0.30	0.80
Ba	0.30	-0.10	<b>1.00</b>	0.80	0.50	0.35	0.70	0.50	0.50	<b>0.90</b>	0.30	<b>1.00</b>	0.50	0.67	<b>0.90</b>	0.30	-0.80	<b>0.90</b>	0.30	-0.20	0.50	-0.10	<b>0.90</b>	0.10
Be	-0.30	0.40	0.80	<b>1.00</b>	<b>0.90</b>	0.71	0.30	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	-0.30	0.80	<b>0.90</b>	0.11	<b>0.90</b>	0.70	<b>-1.00</b>	<b>0.90</b>	0.70	-0.20	0.20	-0.60	0.50	0.50
B	-0.60	0.70	0.50	0.90	<b>1.00</b>	0.71	0.10	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	0.70	-0.60	0.50	<b>1.00</b>	-0.22	0.70	<b>0.90</b>	<b>-0.90</b>	0.70	<b>0.90</b>	-0.10	0.00	-0.80	0.20	0.80
Cd	-0.71	0.71	0.35	0.71	0.71	<b>1.00</b>	-0.35	0.71	0.71	0.35	-0.71	0.35	0.71	-0.40	0.35	0.71	-0.71	0.35	0.71	-0.71	0.35	-0.35	0.00	0.35
Ca	0.70	-0.40	0.70	0.30	0.10	-0.35	<b>1.00</b>	0.10	0.10	0.60	0.70	0.70	0.10	0.89	0.60	0.00	-0.30	0.60	0.00	0.30	0.30	0.10	<b>0.90</b>	0.10
Co	-0.60	0.70	0.50	0.90	1.00	0.71	0.10	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	0.70	-0.60	0.50	<b>1.00</b>	-0.22	0.70	<b>0.90</b>	<b>-0.90</b>	0.70	<b>0.90</b>	-0.10	0.00	-0.80	0.20	0.80
Cu	-0.60	0.70	0.50	0.90	1.00	0.71	0.10	1.00	<b>1.00</b>	0.70	-0.60	0.50	<b>1.00</b>	-0.22	0.70	<b>0.90</b>	<b>-0.90</b>	0.70	<b>0.90</b>	-0.10	0.00	-0.80	0.20	0.80
Cr	0.10	0.00	0.90	0.90	0.70	0.35	0.60	0.70	0.70	<b>1.00</b>	0.10	<b>0.90</b>	0.70	0.45	<b>1.00</b>	0.40	<b>-0.90</b>	<b>1.00</b>	0.40	0.10	0.10	-0.50	0.70	0.30
Sr	1.00	-0.90	0.30	-0.30	-0.60	-0.71	0.70	-0.60	-0.60	0.10	<b>1.00</b>	0.30	-0.60	0.89	0.10	-0.70	0.30	0.10	-0.70	0.30	0.20	0.60	0.60	-0.60
P	0.30	-0.10	1.00	0.80	0.50	0.35	0.70	0.50	0.50	0.90	0.30	<b>1.00</b>	0.50	0.67	<b>0.90</b>	0.30	-0.80	<b>0.90</b>	0.30	-0.20	0.50	-0.10	<b>0.90</b>	0.10
Fe	-0.60	0.70	0.50	0.90	1.00	0.71	0.10	1.00	1.00	0.70	-0.60	0.50	<b>1.00</b>	-0.22	0.70	<b>0.90</b>	<b>-0.90</b>	0.70	<b>0.90</b>	-0.10	0.00	-0.80	0.20	0.80
Li	0.89	-0.67	0.67	0.11	-0.22	-0.40	0.89	-0.22	-0.22	0.45	0.89	0.67	-0.22	<b>1.00</b>	0.45	-0.34	-0.11	0.45	-0.34	0.11	0.45	0.45	0.89	-0.34
Mg	0.10	0.00	0.90	0.90	0.70	0.35	0.60	0.70	0.70	1.00	0.10	0.90	0.70	0.45	<b>1.00</b>	0.40	<b>-0.90</b>	<b>1.00</b>	0.40	0.10	0.10	-0.50	0.70	0.30
Mn	-0.70	0.90	0.30	0.70	0.90	0.71	0.00	0.90	0.90	0.40	-0.70	0.30	0.90	-0.34	0.40	<b>1.00</b>	-0.70	0.40	<b>1.00</b>	-0.30	0.20	-0.60	0.10	<b>0.90</b>
Hg	0.30	-0.40	-0.80	-1.00	-0.90	-0.71	-0.30	-0.90	-0.90	-0.90	0.30	-0.80	-0.90	-0.11	-0.90	-0.70	<b>1.00</b>	<b>-0.90</b>	-0.70	0.20	-0.20	0.60	-0.50	-0.50
Ni	0.10	0.00	0.90	0.90	0.70	0.35	0.60	0.70	0.70	1.00	0.10	0.90	0.70	0.45	1.00	0.40	-0.90	<b>1.00</b>	0.40	0.10	0.10	-0.50	0.70	0.30
Pb	-0.70	0.90	0.30	0.70	0.90	0.71	0.00	0.90	0.90	0.40	-0.70	0.30	0.90	-0.34	0.40	1.00	-0.70	0.40	<b>1.00</b>	-0.30	0.20	-0.60	0.10	<b>0.90</b>
K	0.30	-0.40	-0.20	-0.20	-0.10	-0.71	0.30	-0.10	-0.10	0.10	0.30	-0.20	-0.10	0.11	0.10	-0.30	0.20	0.10	-0.30	<b>1.00</b>	-0.80	-0.40	-0.10	0.10
Na	0.20	0.10	0.50	0.20	0.00	0.35	0.30	0.00	0.00	0.10	0.20	0.50	0.00	0.45	0.10	0.20	-0.20	0.10	0.20	-0.80	<b>1.00</b>	0.60	0.60	-0.10
Ti	0.60	-0.50	-0.10	-0.60	-0.80	-0.35	0.10	-0.80	-0.80	-0.50	0.60	-0.10	-0.80	0.45	-0.50	-0.60	0.60	-0.50	-0.60	-0.40	0.60	<b>1.00</b>	0.20	-0.70
V	0.60	-0.30	0.90	0.50	0.20	0.00	0.90	0.20	0.20	0.70	0.60	0.90	0.20	0.89	0.70	0.10	-0.50	0.70	0.10	-0.10	0.60	0.20	<b>1.00</b>	0.00
Zn	-0.60	0.80	0.10	0.50	0.80	0.35	0.10	0.80	0.80	0.30	-0.60	0.10	0.80	-0.34	0.30	0.90	-0.50	0.30	0.90	0.10	-0.10	-0.70	0.00	<b>1.00</b>

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 41: Matriz de correlaciones (Spearman) – Niveles de Fondo**

VARIABLES	Al	As	Ba	Be	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Ag	Pb	K	Na	Ti	V	Zn
Al	<b>1.00</b>	-0.18	0.42	0.22	-0.56	0.26	0.32	0.44	0.23	<b>0.73</b>	0.33	0.63	0.52	0.57	0.62	0.33	-0.63	0.65	-0.05	-0.02	0.48	0.58	0.43	<b>0.82</b>	0.31
As	-0.18	<b>1.00</b>	-0.01	0.13	0.04	0.35	-0.04	-0.05	0.22	-0.03	0.12	-0.35	0.30	0.06	-0.06	0.30	0.04	-0.16	0.41	0.40	0.10	-0.24	-0.57	-0.11	0.22
Ba	0.42	-0.01	<b>1.00</b>	-0.17	-0.49	0.24	0.30	-0.05	-0.09	0.44	0.30	0.19	0.47	-0.04	0.12	0.12	-0.50	0.34	0.02	0.00	0.49	0.52	0.12	0.39	0.16
Be	0.22	0.13	-0.17	<b>1.00</b>	0.20	0.47	0.43	0.63	0.40	0.12	0.43	0.00	0.30	0.50	0.35	0.67	0.19	0.26	0.33	0.15	-0.20	-0.10	-0.14	0.22	0.43
B	-0.56	0.04	-0.49	0.20	<b>1.00</b>	0.03	-0.30	0.17	0.03	-0.58	-0.13	-0.18	-0.10	-0.37	-0.44	-0.11	<b>0.90</b>	-0.37	0.01	0.32	<b>-0.71</b>	-0.68	-0.27	-0.44	-0.06
Cd	0.26	0.35	0.24	0.47	0.03	<b>1.00</b>	0.54	0.44	0.48	0.40	0.51	0.28	0.47	0.28	0.36	<b>0.83</b>	-0.03	0.51	0.48	<b>0.72</b>	0.12	0.21	-0.08	0.41	<b>0.88</b>
Ca	0.32	-0.04	0.30	0.43	-0.30	0.54	<b>1.00</b>	0.31	0.45	0.55	<b>0.78</b>	0.15	0.32	0.38	0.58	0.60	-0.34	0.60	0.25	0.16	0.30	0.56	0.13	0.53	0.58
Co	0.44	-0.05	-0.05	0.63	0.17	0.44	0.31	<b>1.00</b>	0.47	0.40	0.23	0.59	0.53	0.64	0.59	0.50	0.02	0.66	0.02	0.20	-0.11	0.06	0.37	0.54	0.43
Cu	0.23	0.22	-0.09	0.40	0.03	0.48	0.45	0.47	<b>1.00</b>	0.52	0.16	0.24	0.46	0.56	0.65	0.61	-0.07	0.59	0.37	0.56	0.13	0.03	-0.10	0.53	0.64
Cr	0.73	-0.03	0.44	0.12	-0.58	0.40	0.55	0.40	0.52	<b>1.00</b>	0.30	0.55	0.53	0.64	<b>0.82</b>	0.41	<b>-0.73</b>	<b>0.86</b>	0.00	0.15	<b>0.72</b>	0.64	0.38	<b>0.81</b>	0.48
Sr	0.33	0.12	0.30	0.43	-0.13	0.51	0.78	0.23	0.16	0.30	<b>1.00</b>	0.12	0.36	0.14	0.26	0.41	-0.22	0.33	0.08	0.14	0.19	0.43	-0.01	0.39	0.41
P	0.63	-0.35	0.19	0.00	-0.18	0.28	0.15	0.59	0.24	0.55	0.12	<b>1.00</b>	0.49	0.39	0.54	0.17	-0.38	0.63	-0.23	0.22	0.27	0.49	<b>0.71</b>	0.69	0.29
Fe	0.52	0.30	0.47	0.30	-0.10	0.47	0.32	0.53	0.46	0.53	0.36	0.49	1.00	0.41	0.54	0.42	-0.32	0.48	0.13	0.41	0.33	0.28	0.06	<b>0.73</b>	0.34
Li	0.57	0.06	-0.04	0.50	-0.37	0.28	0.38	0.64	0.56	0.64	0.14	0.39	0.41	<b>1.00</b>	<b>0.87</b>	0.54	-0.43	0.66	0.30	0.09	0.24	0.27	0.27	0.62	0.38
Mg	0.62	-0.06	0.12	0.35	-0.44	0.36	0.58	0.59	0.65	0.82	0.26	0.54	0.54	0.87	<b>1.00</b>	0.54	-0.59	<b>0.79</b>	0.17	0.16	0.46	0.54	0.35	<b>0.84</b>	0.49
Mn	0.33	0.30	0.12	0.67	-0.11	0.83	0.60	0.50	0.61	0.41	0.41	0.17	0.42	0.54	0.54	<b>1.00</b>	-0.05	0.52	<b>0.71</b>	0.58	0.03	0.20	-0.10	0.46	<b>0.89</b>
Hg	-0.63	0.04	-0.50	0.19	0.90	-0.03	-0.34	0.02	-0.07	-0.73	-0.22	-0.38	-0.32	-0.43	-0.59	-0.05	<b>1.00</b>	-0.47	0.20	0.19	<b>-0.87</b>	<b>-0.81</b>	-0.36	-0.63	-0.08
Ni	0.65	-0.16	0.34	0.26	-0.37	0.51	0.60	0.66	0.59	0.86	0.33	0.63	0.48	0.66	0.79	0.52	-0.47	<b>1.00</b>	0.03	0.22	0.42	0.47	0.44	<b>0.75</b>	0.60
Ag	-0.05	0.41	0.02	0.33	0.01	0.48	0.25	0.02	0.37	0.00	0.08	-0.23	0.13	0.30	0.17	0.71	0.20	0.03	<b>1.00</b>	0.48	-0.23	-0.13	-0.29	0.04	0.53
Pb	-0.02	0.40	0.00	0.15	0.32	0.72	0.16	0.20	0.56	0.15	0.14	0.22	0.41	0.09	0.16	0.58	0.19	0.22	0.48	<b>1.00</b>	-0.01	-0.05	-0.32	0.22	<b>0.72</b>
K	0.48	0.10	0.49	-0.20	-0.71	0.12	0.30	-0.11	0.13	0.72	0.19	0.27	0.33	0.24	0.46	0.03	-0.87	0.42	-0.23	-0.01	<b>1.00</b>	<b>0.70</b>	0.18	0.51	0.13
Na	0.58	-0.24	0.52	-0.10	-0.68	0.21	0.56	0.06	0.03	0.64	0.43	0.49	0.28	0.27	0.54	0.20	-0.81	0.47	-0.13	-0.05	0.70	<b>1.00</b>	0.50	0.64	0.27
Ti	0.43	-0.57	0.12	-0.14	-0.27	-0.08	0.13	0.37	-0.10	0.38	-0.01	0.71	0.06	0.27	0.35	-0.10	-0.36	0.44	-0.29	-0.32	0.18	0.50	<b>1.00</b>	0.40	-0.08
V	0.82	-0.11	0.39	0.22	-0.44	0.41	0.53	0.54	0.53	0.81	0.39	0.69	0.73	0.62	0.84	0.46	-0.63	0.75	0.04	0.22	0.51	0.64	0.40	<b>1.00</b>	0.47
Zn	0.31	0.22	0.16	0.43	-0.06	0.88	0.58	0.43	0.64	0.48	0.41	0.29	0.34	0.38	0.49	0.89	-0.08	0.60	0.53	0.72	0.13	0.27	-0.08	0.47	<b>1.00</b>

FUENTE: Elaboración propia (2017)

Del análisis de correlación podemos observar que los parámetros de interés (Arsénico, Plata, Plomo y Zinc) presentan algunas correlaciones con otros metales.

La concentración de Arsénico total, tanto en el *Área de estudio 1* y en los *Niveles de Fondo* no presenta correlación lineal con ningún otro metal, no obstante en el *Área de estudio 2* el Arsénico total presenta correlación positiva con el Manganeso total y el Plomo total y correlación negativa con el Aluminio total y el Estroncio total.

En el *Área de estudio 1* la concentración de Plata total presenta correlación positiva con el Cadmio total, Cobre total, Manganeso total, Mercurio total, Plomo total y Zinc total, asimismo presenta correlación negativa con el Potasio total. En el *Área de estudio 2* no se analizó el metal plata por presentar valores debajo del límite de detección, por lo que no presenta correlación con ningún otro parámetro. En los *Niveles de Fondo* la concentración de Plata total presenta correlación positiva solo con el Manganeso total.

En el *Área de estudio 1* la concentración de Plomo total presenta correlación positiva con el Berilio total, Cadmio total, Calcio total, Cobre total, Litio total, Magnesio total, Níquel total, Plata total y Zinc total, asimismo presenta correlación negativa con el Potasio total. En el *Área de estudio 2* presenta correlación positiva con el Arsénico total, el Boro total, Cobalto total, Cobre total, Hierro total, Manganeso total y Zinc total. En los *Niveles de Fondo* la concentración de Plomo total presenta correlación positiva con el Cadmio total y el Zinc total.

En el *Área de estudio 1* la concentración de Zinc total presenta correlación positiva con Cadmio total, Cobre total, Manganeso total, Plata total y Plomo total. En el *Área de estudio 2* presenta correlación positiva solo con el Manganeso total y el Plomo total. En los *Niveles de Fondo* la concentración de Zinc total presenta correlación positiva con el Cadmio total, Manganeso total y el Plomo total.

Las correlaciones de los metales de interés se pueden apreciar en la Tabla 42.

**Tabla 42: Resumen de las Correlaciones de los Metales de Interés**

Metal de Interés	Área de estudio 1	Área de estudio 2	Niveles de Fondo
<b>Correlación positiva</b>			
Arsénico total	-	Manganeso total, Plomo total	-
Plata total	Cadmio total, Cobre total, Manganeso total, Mercurio total, Plomo total, Zinc total	-	Manganeso total
Plomo total	Berilio total, Cadmio total, Calcio total, Cobre total, Litio total, Magnesio total, Níquel total, Plata total, Zinc total	Arsénico total, Boro total, Cobalto total, Cobre total, Hierro total, Manganeso total, Zinc total	Cadmio total, Zinc total
Zinc total	Cadmio total, Cobre total, Manganeso total, Plata total, Plomo total	Manganeso total, Plomo total	Cadmio total, Manganeso total, Plomo total
<b>Correlación negativa</b>			
Arsénico total	-	-	-
Plata total	Potasio total	-	-
Plomo total	Potasio total	-	-
Zinc total	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia (2017)

Del análisis anterior se puede apreciar que no existe alguna correlación negativa de interés para el presente estudio que se relacione a la actividad minera en la zona. Caso contrario, la correlación positiva sí aporta información de interés, entre lo que destaca que el arsénico total presenta una relación directa con la concentración de Manganeso total y Plomo total en el *Área de estudio 2*, relación que no puede ser explicada por condiciones naturales por lo que existe una alta probabilidad que sea consecuencia de la actividad minera.

Del mismo modo, solo las correlaciones de Plata total con Manganeso total, Plomo total con Cadmio total y Zinc total, Zinc total con Cadmio total y Manganeso total obedecen a condiciones naturales por lo que el restante de las correlaciones encontradas podría ser a causa de la actividad minera.

#### **4.10.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó usando la matriz Spearman de correlaciones del ítem 10.2 con ayuda del programa estadístico XLSTAT para los tres casos: *Área de estudio 1*, *Área de estudio 2* y *Nivel de Fondo*.

### a. Análisis de Componentes Principales del Área de Estudio 1

En la Tabla 43 se presentan los valores propios de cada componente encontrado.

**Tabla 43: Valores Propios – Área de estudio 1**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valor propio	13.846	5.236	2.407	1.641	0.983	0.422	0.285	0.179
Variabilidad (%)	55.382	20.945	9.629	6.565	3.934	1.687	1.141	0.717
% acumulado	55.382	76.327	85.956	92.521	96.454	98.141	99.283	100.000

FUENTE: Elaboración propia (2017)

De lo observado se concluye que el componente F1 y F2 representan juntos el 76.327 por ciento de la variabilidad total de información, por lo que se trabajara con estos dos componentes para la elaboración del mapa denominado círculo de correlaciones.

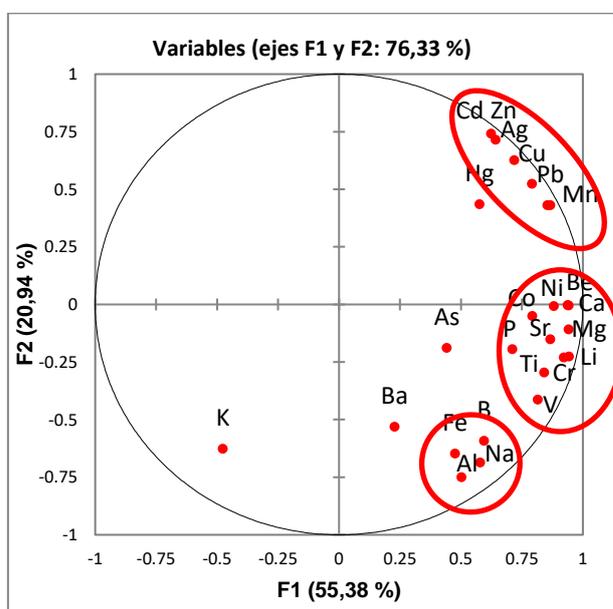


Figura 26: Círculo de correlaciones – Área de estudio 1

FUENTE: Elaboración propia (2017)

En la figura 26 se puede observar que un primer grupo conformado por el Fe, Al, B y Na se encuentran positivamente correlacionados, de igual forma se tiene un segundo grupo conformado por el conjunto de parámetros Cd, Zn, Ag, Cu, Pb y Mn los cuales se encuentran alta y positivamente correlacionados puesto que se ubican muy cerca a la circunferencia del gráfico (se puede corroborar con la matriz de Spearman), un tercer grupo conformado por Be, Ca, Ni, Mg, Co, Li, Cr, Sr, Ti, V y P se encuentran correlacionados positivamente tal como se puede verificar en la matriz de Spearman.

En la Tabla 44 donde se muestran las correlaciones de los metales con los factores del ACP

se puede observar que el componente F1 tiene mayor correlación positiva con la mayoría de los metales analizados (Al, Be, B, Cd, Co, Cu, Cr, Sr, P, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb, Na, Ti, V y Zn), por tanto, es probable que este componente se encuentre representando a los metales de origen natural. En cuanto al componente F2, este tiene correlación positiva con el Cd, Cu, Ag, Zn, Pb, Mn, y Hg, que son metales comúnmente relacionados a la actividad minera, a su vez tiene una alta correlación negativa con Al y Fe, que son metales que se encuentran de forma abundante en la corteza terrestre y que tienen mayormente un origen natural, es por ello que posiblemente este componente este representando los metales que son influencia de la actividad minera, esto concuerda con el análisis de la figura 36, donde también se observa que los metales Cd, Zn, Ag, Cu, Pb y Mn, se encuentran alta y positivamente correlacionados.

**Tabla 44: Correlaciones entre las variables y los factores – Área de estudio 1**

Parámetro	F1	F2
Al	0.503	-0.750
As	0.442	-0.190
Ba	0.228	-0.531
Be	0.943	-0.004
B	0.595	-0.592
Cd	0.624	0.742
Ca	0.938	-0.004
Co	0.794	-0.050
Cu	0.792	0.523
Cr	0.922	-0.230
Sr	0.867	-0.152
P	0.711	-0.194
Fe	0.476	-0.647
Li	0.944	-0.227
Mg	0.942	-0.108
Mn	0.855	0.430
Hg	0.577	0.434
Ni	0.882	-0.008
Ag	0.719	0.626
Pb	0.868	0.430
K	-0.476	-0.627
Na	0.579	-0.686
Ti	0.842	-0.295
V	0.816	-0.413
Zn	0.643	0.714

FUENTE: Elaboración propia (2017)

## b. Análisis de Componentes Principales del Área de Estudio 2

En la Tabla 45 se presentan los valores propios de cada componente encontrado.

**Tabla 45: Valores Propios – Área de estudio 2**

	F1	F2	F3	F4
Valor propio	12.510	7.445	2.796	1.248
Variabilidad (%)	52.126	31.020	11.652	5.201
% acumulado	52.126	83.147	94.799	100.000

FUENTE: Elaboración propia (2017)

De lo observado se concluye que el componente F1 y F2 representan juntos el 83.147 por ciento de la variabilidad total de información, por lo que se trabajara con estos dos componentes para la elaboración del mapa denominado círculo de correlaciones.

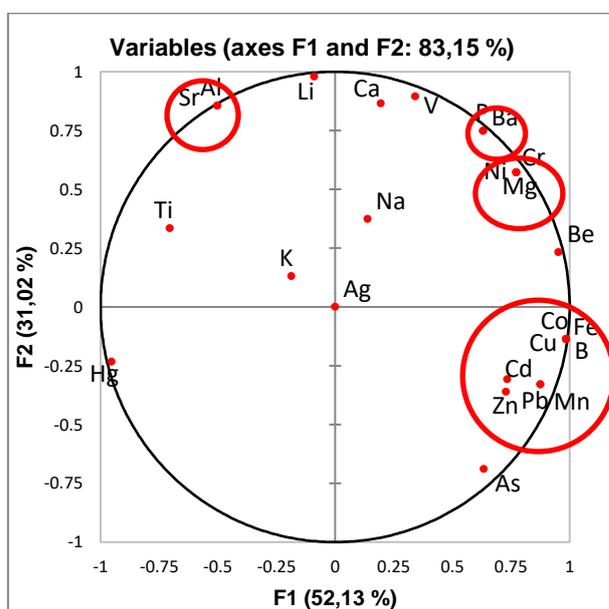


Figura 27: Círculo de correlaciones – Área de estudio 2

FUENTE: Elaboración propia (2017)

En la figura 27 se puede observar que un primer grupo conformado por el Al y Sr se encuentran alta y positivamente correlacionados, de igual forma se tiene un segundo grupo conformado por el Ba y el P, los cuales se encuentran alta y positivamente correlacionados, un tercer grupo está compuesto por Mg, Cr y Ni los cuales también se encuentran alta y positivamente correlacionados, el cuarto grupo comprende el B, Co, Cu, Fe, Pb y Mn, correlacionados alta y positivamente, estas correlaciones se pueden corroborar en la matriz de Spearman.

En la Tabla 46 donde se muestran las correlaciones de los metales con los factores del ACP

se puede observar que el componente F1 tiene mayor correlación positiva con una gran gama de metales relacionados a la actividad minera (Be, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn), por tanto, es probable que este componente se encuentre representando a los metales son influencia de la actividad minera. En cuanto al componente F2, este tiene correlación positiva con el Al, Ba, Ca, Sr, Li y V, que son metales inocuos, con excepción del Ba, relacionados a las condiciones naturales del suelo de esa zona, para el caso del Ba, al igual que el aluminio, se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en forma de minerales barita (sulfato de bario, BaSO<sub>4</sub>) y witherita (carbonato de bario, BaCO<sub>3</sub>).

**Tabla 46: Correlaciones entre las variables y los factores – Área de estudio 2**

Parámetro	F1	F2
Al	-0.501	0.855
As	0.634	-0.689
Ba	0.632	0.749
Be	0.953	0.233
B	0.985	-0.137
Cd	0.734	-0.308
Ca	0.195	0.865
Co	0.985	-0.137
Cu	0.985	-0.137
Cr	0.773	0.572
Sr	-0.501	0.855
P	0.632	0.749
Fe	0.985	-0.137
Li	-0.089	0.979
Mg	0.773	0.572
Mn	0.876	-0.329
Hg	-0.953	-0.233
Ni	0.773	0.572
Ag	0.000	0.000
Pb	0.876	-0.329
K	-0.186	0.132
Na	0.139	0.374
Ti	-0.705	0.334
V	0.343	0.896
Zn	0.728	-0.360

FUENTE: Elaboración propia (2017)

### c. Análisis de Componentes Principales del Niveles de Fondo

En la Tabla 47 y la Tabla 48 se presentan los valores propios de cada componente encontrado.

**Tabla 47: Valores Propios – Nivel de Fondo**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valor propio	9.807	4.885	2.532	1.558	1.490	1.145	0.869	0.596	0.522	0.453	0.299
Variabilidad (%)	39.226	19.540	10.127	6.231	5.961	4.579	3.475	2.382	2.086	1.810	1.196
% acumulado	39.226	58.766	68.893	75.124	81.085	85.665	89.140	91.522	93.608	95.418	96.614

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 48: Valores Propios – Nivel de Fondo (continuación)**

	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22
Valor propio	0.198	0.173	0.135	0.108	0.062	0.054	0.050	0.029	0.023	0.013	0.001
Variabilidad (%)	0.790	0.691	0.540	0.433	0.249	0.216	0.201	0.115	0.092	0.053	0.005
% acumulado	97.404	98.095	98.635	99.069	99.317	99.533	99.734	99.849	99.941	99.995	100.000

FUENTE: Elaboración propia (2017)

De lo observado se concluye que el componente F1 y F2 representan juntos el 58.766 por ciento de la variabilidad total de información, por lo que se trabajara con estos dos componentes para la elaboración del mapa denominado círculo de correlaciones, no obstante se debe considerar que puede existir información valiosa que no esté reflejada en estos componentes.

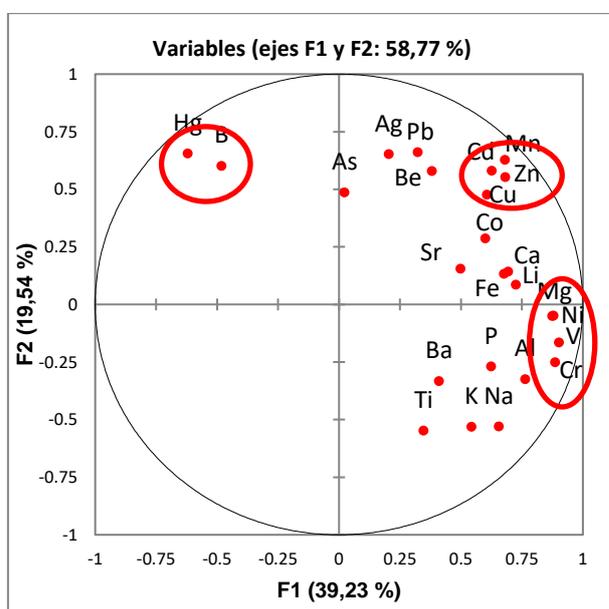


Figura 28: Círculo de correlaciones – Nivel de Fondo

FUENTE: Elaboración propia (2017)

En la figura 28 se puede observar que un primer grupo conformado por el Mn, Cd y el Zn se encuentran positivamente correlacionados, de igual forma se tiene un segundo grupo conformado por el Hg y el B, los cuales se encuentran positivamente correlacionados, un

tercer grupo está compuesto por Mg, Ni, V y Cr los cuales también se encuentran positivamente correlacionados.

Adicionalmente, en la Tabla 49 se muestran las correlaciones de los metales con los factores del PCA, de esta tabla se puede observar que el componente F1 tiene correlación positiva con los metales Al, Cd, Ca, Co, Cu, Cr, Sr, P, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, K, Na, V y Zn, de igual forma el componente F2 tiene correlación positiva con los metales As, Be, B, Mn, Hg, Ag, Pb y Zn por tanto, es probable que ambos componente se encuentre representando a los metales de origen natural, para el caso del componente F2 este posiblemente que este componente este representando específicamente a los metales que tienen su origen en las vetas que se encuentran en la zona y que poseen altas concentraciones de minerales como As, Ag, Pb y Zn.

**Tabla 49: Correlaciones entre las variables y los factores – Nivel de Fondo**

Parámetros	F1	F2
Al	0.764	-0.325
As	0.023	0.486
Ba	0.411	-0.333
Be	0.381	0.579
B	-0.482	0.601
Cd	0.627	0.580
Ca	0.695	0.143
Co	0.600	0.286
Cu	0.607	0.476
Cr	0.887	-0.252
Sr	0.499	0.154
P	0.625	-0.270
Fe	0.677	0.132
Li	0.726	0.086
Mg	0.880	-0.049
Mn	0.681	0.628
Hg	-0.620	0.655
Ni	0.875	-0.051
Ag	0.204	0.652
Pb	0.323	0.660
K	0.543	-0.531
Na	0.655	-0.530
Ti	0.348	-0.548
V	0.902	-0.166
Zn	0.683	0.553

FUENTE: Elaboración propia (2017)

#### 4.10.4. ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN

En el Anexo 06 se presentan los índices de geoacumulación obtenidos para cada muestra analizada, para la determinación del Bn, concentración de fondo geoquímico del metal, se utilizaron los datos recogidos por S. R. Taylor para la determinación de la concentración promedio en la corteza terrestre de los elementos (Taylor, 1964).

Así, se analizó el promedio de las concentraciones de cada metal para cada zona de muestreo (*Área de estudio 1, Área de estudio 2 y Nivel de Fondo*) y se obtuvo un Índice de geoacumulación promedio representativo el cual se presenta en la Tabla 50 y la Tabla 51.

**Tabla 50: Leyenda de colores para el Índice de Geoacumulación**

$I_{geo}$	Clase	Calidad del suelo – Leyenda de color
$I_{geo} \leq 0$	1	prácticamente no contaminado
$0 < I_{geo} \leq 1$	2	no contaminado a moderadamente contaminado
$1 < I_{geo} \leq 2$	3	moderadamente contaminado
$2 < I_{geo} \leq 3$	4	moderadamente a fuertemente contaminado
$3 < I_{geo} \leq 4$	5	Fuertemente contaminado
$4 < I_{geo} \leq 5$	6	fuertemente a muy fuertemente contaminado
$5 < I_{geo}$	7+	Muy fuertemente contaminado

FUENTE: Elaboración propia (2017)

**Tabla 51: Índice de Geoacumulación por zonas de muestreo**

Metales	Área de estudio 1	Área de estudio 2	Nivel de Fondo
Al	-2.8903	-2.6675	-2.5451
As	5.3543	5.1166	5.7086
Ba	-2.4234	-1.9850	-1.8843
Be	-2.2421	-2.2981	-2.1778
B	1.0746	0.9961	0.0026
Cd	3.0047	1.7684	2.7373
Ca	-3.7145	-4.9066	-3.4891
Co	-1.3770	-1.4801	-1.4333
Cu	-0.4491	-1.5437	-0.5408
Cr	-2.5764	-2.8016	-1.8846
Sr	-4.0112	-4.3660	-4.1108
P	-0.3937	-0.6407	-0.3323
Fe	-1.7377	-1.7929	-1.4918
Li	-1.0433	-1.5692	-0.3824
Mg	-2.2674	-3.0529	-2.0670
Mn	1.2260	-0.6375	1.4302
Hg	2.1308	0.4681	2.6202

Continuación

Ni	-2.1268	-2.3104	-2.0563
Ag	7.1238	4.2515	5.6711
Pb	2.2939	0.5852	2.1210
K	-4.2923	-4.3387	-3.4471
Na	-8.1963	-8.1714	-8.0659
Ti	-4.4008	-4.1601	-4.4575
V	-2.2132	-2.2469	-1.8870
Zn	1.4426	-0.2152	0.8888

FUENTE: Elaboración propia (2017)

De lo presentado se puede observar que aunque el Arsénico presenta niveles mayores a cinco, lo que indica que las *Área de estudio* son zonas muy fuertemente contaminadas para este metal, el índice de geoacumulación para los niveles de fondo también presentan valores mayores a cinco, por lo que se puede inferir que aunque la zona tiene una presencia fuerte de arsénico, esta es consecuencia de la propia mineralogía de la zona, que es rica en arsenopirita.

El boro en el *Área de estudio 1* presenta un índice de geoacumulación mayor a uno, por lo que sería una zona moderadamente contaminada, en contraste el *Nivel de Fondo* presenta un índice menor a uno, por lo que sería una zona no contaminada. Se puede concluir que existe una perturbación moderada para el boro por fuentes antropogénicas.

Para el caso del Cadmio, el *Área de estudio 1* presenta un índice de geoacumulación mayor a tres, lo que indica que es una zona fuertemente contaminada, en contraste el *Nivel de Fondo* tiene un índice entre dos y tres, por lo que representa una zona moderadamente contaminada, esto indica que aunque existe una perturbación antropológica, también existe una fuente natural de este elemento.

Para el caso del metal Plata, se puede observar que el índice de geoacumulación en el *Área de estudio 1* y en el *Nivel de Fondo* presenta valores superiores a cinco, lo que indicaría que son zonas muy fuertemente contaminadas, no obstante es evidente que existe un aporte de las actividades mineras en el *Área de estudio 1*, puesto que en esta zona el índice llega a ser superior a siete.

El Zinc en el *Área de estudio 1* presenta un índice de geoacumulación mayor a uno, por lo que sería una zona moderadamente contaminada, en contraste el *Nivel de Fondo* presenta un índice un poco menor a uno, por lo que también sería una zona moderadamente contaminada.

Se puede concluir que existe una pequeña perturbación en el caso del Zinc por la actividad minera, no obstante, los suelos de estas zonas de forma natural tienen una concentración moderada de este metal.

Es necesario mencionar que para el caso del mercurio, los niveles de fondo presentan un índice de geoacumulación mayor a los encontrados a los cuadrángulos, en el rango de moderadamente a fuertemente contaminado, esto podría deberse a que la concentración promedio de mercurio en la corteza terrestre encontrada por Taylor era de 0.08 mg/Kg (Taylor, 1964), no obstante según Arias et al. (2014) en su estudio “Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia”, determinó que la concentración promedio de mercurio en las zonas de control (sin influencia de actividad minera) era de 0.4 mg/Kg, por lo que se puede suponer que los suelos naturales en Latinoamérica pueden contener una concentración mayor de mercurio a lo determinado por Taylor, ello explicaría el Igeo obtenido en los suelos de los niveles de fondo.

#### **4.11. DISCUSIÓN**

En el análisis basado en la normativa nacional, la comparación de los resultados obtenidos en el Muestreo de Identificación con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos aprobados en el D.S. 002-2013 – MINAM y con los Niveles de Fondo registrados demuestra que la mayoría de las concentraciones de metales totales se encuentran por debajo de los estándares nacionales (D.S. 002-2013 – MINAM), teniendo solo para el caso del Arsénico total, valores que exceden dichos estándares nacionales pero que a su vez se encuentran por debajo de los niveles de fondo registrados para este metal total, lo cual indicaría que las concentraciones registradas corresponderían a las características naturales de la zona y en consecuencia la evaluación de sitios contaminados basada en la metodología aprobada en la R.M. 085-2014-MINAM tendría como resultado no desarrollar la fase de caracterización y remediación con lo cual se deslindaría responsabilidad de las actividades mineras en el área de estudio (Depósitos de Desmonte y Depósitos de Relaves).

Frente a esto, se realizaron análisis adicionales a lo estipulado en la normativa nacional para determinar el verdadero grado de afectación por parte de las actividades mineras, para ello se usó el Índice de Calidad Ambiental basado en la *Soil Quality Index Calculator* de la misma *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) de donde se obtiene los

Estándares Internacionales Referenciales para Plata total y Zinc total del análisis anterior, en este análisis se obtiene que los índice de calidad ambiental en los *Área de estudio 1*, *Área de estudio 2* y *Nivel de Fondo* son de baja y media preocupación, lo cual indica que si existe alguna afectación por parte de las actividades mineras el daño es mínimo puesto que en términos de calidad ambiental de suelos, la calidad en las tres zonas de estudio no se ve alterada y es muy similar.

Del mismo modo se realizaron análisis de datos estadísticos basados en correlación de parámetros y análisis de componentes principales, ambos basados en una Matriz de Spearman en donde se concluyen que existen correlaciones positivas fuertes entre algunos parámetros lo que indicarían que en el *Área de estudio 1*, los metales totales manganeso, cadmio, plata, cobre, plomo y zinc y en el *Área de estudio 2* los metales totales arsénico, manganeso y plomo, obedecerían a una misma fuente antropogénica. En el análisis de geoacumulación se obtiene resultados similares, en donde se observa que para el caso del arsénico tanto los *Área de estudio 1* y *Área de estudio 2* como los *Nivel de Fondo* se encuentran fuertemente contaminados, por lo que dicho metal obedecería a características naturales, en contraste para el caso del cadmio, la plata y el zinc, se observa una clara perturbación en el *Área de estudio 1*, lo que indicaría que existe influencia o afectación por parte de los componentes mineros que se encuentran en dicha zona.

Finalmente, si bien en la comparación de la normativa nacional e internacional se obtiene que el arsénico y el zinc obedecen a características naturales y que la plata puede provenir de influencia de las actividades mineras, lo cual se corrobora con los análisis estadísticos de correlación de parámetros, componentes principales y geoacumulación donde se observa que a pesar de las características mineralógicas de la zona con presencia de arsénico, existe una fuente común para varios metales que puede ser antropogénica, dichas concentraciones que pueden ser naturales o antropogénicas no afectan la calidad ambiental para suelos, determinada según el Índice de calidad de la *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) a pesar que para el caso de la plata se encuentra superando los estándares internaciones referenciales y los niveles de fondo.

## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la metodología descrita en el R. M. N° 085-2014-MINAM se encontraron tres Áreas de Potencial Interés (API), de las cuales las API A y B se encontraron en el *Área de estudio 1* y el API C en el *Área de estudio 2*.
- De la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos, aprobados por D. S. N° 002-2013-MINAM, se observa que las tres API's presentan valores de Arsénico que sobrepasan el estándar de comparación, no obstante, dichos valores se encuentran por debajo de los niveles de fondo por lo que las concentraciones registradas podrían obedecer a características naturales de la zona.
- De la Cuantificación del Índice de Calidad de Suelos de la *Canadian Council of Ministers of the Environment (SoQI-CCME)* se puede concluir que el *Área de estudio 1* presenta una buena calidad ambiental siendo clasificado como de baja preocupación, en dicha área se encuentran las API A y B, las cuales son influenciadas principalmente por Depósitos de Desmonte, en contraste el *Área de estudio 2* está clasificado como media preocupación, en dicha área se encuentra el API C, el cual está influenciado por el Deposito de Relaves. En comparación el *Nivel de Fondo* presenta una clasificación de Baja preocupación, por lo que se puede concluir que el *Área de estudio 2*, específicamente el API C, presenta suelos con calidad Ambiental media, que puede haber sido afectada por el componente minero.
- Del análisis de correlación se observa que en el *Área de estudio 1* y en el *Área de estudio 2* existe un número mayor de correlaciones en comparación a los *Niveles de Fondo*, por lo que se infiere que estas correlaciones adicionales no obedecerían a condiciones naturales y por lo tanto, podrían tener una misma causa antropogénica. Del análisis de componentes principales se puede observar que en el *Área de estudio 1* los metales de origen antropogénico están representados por el Factor 2: Cadmio, Cobre, Plata, Plomo, Manganeso, Zinc y Mercurio, las concentraciones de estos metales serían producto de la minería circundante que en sus actividades tienden a remover distintos depósitos de minerales naturales combinándolos y exponiéndolos al ambiente. Del mismo modo en el *Área de estudio 2* los metales de origen

antropogénico están representados por el Factor 1: Berilio, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Hierro, Manganeso, Plomo y Zinc. En contraste a esto, para el caso de los niveles de fondo, ambos factores se encuentre representando a los metales de origen natural; esto confirmaría que en el análisis de los niveles de fondo no se puede evidenciar alguna fuente antropogénica.

- Del análisis del índice de geoacumulación se observa que los suelos de las dos áreas de estudio y del nivel de fondo se encuentran muy fuertemente contaminados con Arsénico, por lo que se estima que el origen mayoritario de este metal es la mineralogía natural de la zona. Para el caso del Cadmio, la Plata y el Zinc se observa una clara perturbación por actividades antropogénicas en el *Área de estudio 1*.
- Finalmente, se concluye que los sitios analizados presentan perturbaciones por parte de las actividades mineras y que en el análisis de la contaminación por determinados parámetros algunas zonas se encuentran moderadamente contaminadas, no obstante es imperante aclarar que en términos de Calidad Ambiental de suelos no se registra un daño considerable que afecte la calidad total del suelo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Para el análisis de metales la normativa nacional se basa en los metales totales, no obstante con esta medición no se puede tener una real dimensión de la dinámica de los metales en el suelo por lo que se recomendaría complementar las futuras investigaciones con análisis de toxicidad y movilidad de los contaminantes para identificar las fracciones de metal que se encuentra biodisponibles y que podrían moverse a otros medios, incorporar esta característica sería importante para determinar la real contaminación del suelo desde el punto de vista de los ecosistemas que en él se sustentan, así como la posible afectación de cursos de agua que puedan transportar estos contaminantes a poblaciones aledañas, tomando como referencia lo ya aplicado en otras guías internacionales para la determinación de sitios contaminados.
- Si bien se concluye que en términos generales de calidad ambiental para suelos no existe una perturbación que se pueda considerar como importante, si se han encontrado que para determinados parámetros existe una contaminación moderada y que estas corresponderían a la influencia de las actividades mineras circundantes por lo que se recomendaría implementar actividades de prevención y cuidado de los suelos para evitar que los daños sigan ocasionándose y que los metales alcancen concentraciones que puedan afectar la calidad ambiental del suelo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Macías, F. 1996. Los suelos de mina: Su recuperación. Evaluación y Manejo de Suelos, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. 1996. Eds. Aguilar, J., Martínez, A. y Roca, A. pp. 227-243.
- Amón, J. Estadística para Psicólogos I. Estadística Descriptiva. 15 ed. Madrid, SPA. Ediciones Piramide. 386 p.
- Arias, J; Camargo, J; Muñoz, D. 2014. Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. COL. 165-177.
- Bautista Zuñiga, F. 1999. Introducción al Estudio de la Contaminación del Suelo por Metales Pesados. Universidad Autónoma de Yucatán. MX. 40 p.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2007. CCME Soil Quality Index 1.0: Technical Report. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Constitución Política del Perú. Aprobada por el Congreso Constituyente Democrático ratificada mediante referéndum el 31 de octubre de 1993 promulgada por el Presidente de la República el 29 de diciembre de 1993 en vigencia desde el 31 de diciembre de 1993.
- Dallas E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. 2 ed. MX. International Thomson Editores. 566 p.

- Dorado Valiño, M; Ortiz Bernad, I; Sanz Garcia, J; Villar Fernandez, S. 2007. técnicas de recuperación de suelos contaminados (en línea). Madrid, SPA. Consultado 23 set. 2015. Disponible en <http://www.madrid.org/edupubli>.
- Decreto Supremo N° 016-1993-EM “Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero - Metalúrgica” con fecha 28 de abril de 1993.
- Decreto Supremo N° 013-2010-AG “Aprueban Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos” con fecha 19 de noviembre de 2010.
- Decreto Supremo N° 002-2013- MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo” con fecha 24 de marzo de 2013.
- Decreto Supremo N° 013-2015- MINAM “Dictan reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados” con fecha 29 de octubre de 2015.
- Fox Llerena, E. 2013. Evaluación de Pérdida de Suelo por Salinización en la Parte Baja de la Cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980 – 2003). Tesis Lic. Geog. Med. Amb. Pontificia Universidad Católica del Perú. 99 p.
- Galán Huertos, E; Romero Baena, A. 2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. 10 (2008):48-60.
- GARCÍA, I. & DORRONSORO, C. 2015. Contaminación del suelo: Contaminación por metales pesados (en línea). Departamento de edafología y química agrícola de España. Consultado 15 set. 2015. Disponible en: <http://www.edafologia.net/conta/tema15/introd.htm>
- Guía Técnica RD 9/2005. 2007(en línea). Consultado 26 feb. 2017. Disponible en: [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/suelos-contaminados/guia\\_tecnica\\_contaminantes\\_suelo\\_declaracion\\_suelos\\_tcm7-3204.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/suelos-contaminados/guia_tecnica_contaminantes_suelo_declaracion_suelos_tcm7-3204.pdf)

- IHOBE, S. A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, 1998. Guía Metodológica: Investigación de la Contaminación del Suelo. 1 ed. España.
- INGEMMET. 1998. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, n° 40 (en línea) Consultado 15 ene. 2017. Disponible en: <http://www.calameo.com/read/000820129743534ded79c>
- INGEMMET. 2011. Memoria Sobre la Geología Económica de la Región Arequipa (en línea). Consultado 26 feb. 2017. Disponible en: [http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/468768/2011\\_GE33\\_Memoria\\_Geologia\\_Economica\\_Arequipa.pdf/8a5e06bb-207b-47bd-949d-b7fb9636835d](http://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/468768/2011_GE33_Memoria_Geologia_Economica_Arequipa.pdf/8a5e06bb-207b-47bd-949d-b7fb9636835d)
- López Domínguez, M. 2009. Distribución y Fitodisponibilidad de Metales Pesados (Sb, Hg, As) en los Jales de la Mina de Antimonio de Wadley, Estado de San Luis Potosí. Tesis Mag. Sc. Universidad Nacional Autónoma de México. 157 p.
- Moriarty, F. 1999. Ecotoxicology. The Study of Pollutants in Ecosystems. 3 ed. Academic Press. 337 p.
- Qi, Z.; Wang, D.; Wei, Z.; Zhou, H. 2011. Assessment of Soil Heavy Metal Pollution with Principal Component Analysis and Geoaccumulation Index. Procedia Environmental Sciences 10 (2011): 1946-1952.
- Resolución Directoral N° 004-2014- MEM/AAM “Aprobar Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración "Acumulación Caylloma 1, 2 y 3 - Etapa B” con fecha 06 de enero de 2014.
- Resolución Directoral N° 173-2011- MEM/AAM “Aprobar el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Ampliación de Mina y Planta de Beneficio Huayllacho de 1,030 TMD a 1,500 TMD” con fecha 08 de junio de 2011.

- Resolución Directoral N° 312-2010- MEM/AAM “Aprobar el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Explotación Suykutambo” con fecha 30 de setiembre de 2010.
- Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM “Aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos” con fecha 31 de marzo de 2014.
- Sauquillo, A., Rigol, A. y Rauret, G. 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry* 22(3): 152-159.
- Shinno Huamani, G. 2014. Perspectivas de la Minería Peruana Hacia el 2021 (Diapositiva). Expomina 2014. Lima, PE. 40 diapositivas, color.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (SSSA). 1984. Glossary of Soil Science terms. SSSA. Madison. 38 p.
- Kiernan P. 2016. Mining Dams Grow to Colossal Heights, and So Do the Risks. *THE WALL STREET JOURNAL*. (en línea). Consultado 18 feb. 2017. Disponible en: <https://www.wsj.com/articles/brazils-samarco-disaster-mining-dams-grow-to-colossal-heights-and-so-do-the-risks-1459782411>
- Taylor. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica* 28:1273-1285.

## **VIII. ANEXOS**

## ANEXO 01: Ficha de Levantamiento Técnico

### I. Ficha de levantamiento técnico - Área de estudio 1

FICHA DE LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO - ECA SUELO			
Proyecto:	Identificación de Sitios Contaminados - Fase de Identificación	Código N° : Área de estudio 1	
Elaborado por:	Geraldine Farfán Paredes	Hora: 11:00 am	
Registro climático del momento de muestreo: soleado			
Ubicación - Coordenadas UTM (WGS 84)			
Este: 192 634	Norte: 8 318 425	Altitud : 4 508 (msnm)	
Información General del lugar evaluado			
Acceso al Sitio	Acceso Controlado	Área de paso para vecinos	Presencia de instalaciones / Construcciones
A pie	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>
Camioneta <input checked="" type="checkbox"/>	No	No <input checked="" type="checkbox"/>	No
Otro (Especificar):	Observación:	Observación:	Función:
			depósitos de desmonte, almacenes
Presencia de residuos en exterior o interior de instalaciones	Existen evidencias de disposición final de residuos	Existen Tanques de combustible o de otros productos químicos	Existen evidencias de derrames en el sitio
Sí	Sí	Sí	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No	No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	Observación (coordenadas):	Observación: <input checked="" type="checkbox"/>	Observación:
		existe un almacén de pinturas	
Coloración o decoloración de suelos y pisos	Presencia de Olores extraños	Impermeabilización Deficiente (charcos o costras)	Suelo retirado del local o amontonado en Pilas
Sí	Sí	Sí	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	Observación:	Observación:	Observación:
Actividades Observadas (momento de inspección)		Áreas recreativas y de reunión de niños	Existe Cobertura Vegetal
Industrial <input checked="" type="checkbox"/>	Comercial	Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>
Agrícola	Recreativa	No <input checked="" type="checkbox"/>	No
Residencial	Abandonada <input checked="" type="checkbox"/>	Especificar :	Indicar Tipo de Vegetación:
Otro (Especificar):			pastos naturales / ichu
Áreas de Cultivo	Presencia de Personas habitando el sitio	Presencia de especies de Fauna	Se crían animales para consumo humano
Sí	Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No	No <input checked="" type="checkbox"/>
Indicar tipos de cultivos:	Indicar número de viviendas y características:	Especies observadas durante la inspección:	Especies observadas durante la inspección:
		auquénidos	
Cuerpos de agua en el sitio o próximos (metros)	Uso de cuerpos de agua		Existen pozos de extracción de agua subterránea
Quebradas	Consumo humano	Pesca	Sí
Lagunas	Consumo de animales	Recreativo	No <input checked="" type="checkbox"/>
Ríos <input checked="" type="checkbox"/>	Productivo		Especificar Uso:
Otro (Especificar)	Otro (Especificar):		
	No identificado		

**II. Ficha de levantamiento técnico - Área de estudio 2**

FICHA DE LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO - ECA SUELO			
Proyecto:	Identificación de Sitios Contaminados - Fase de Identificación		Código N° : Área de estudio 2
Elaborado por:	Geraldine Farfán Paredes		Hora: 3:30 pm
Registro climatico del momento de muestreo: soleado			
Ubicación - Coordenadas UTM (WGS 84)			
Este: 196 286	Norte: 8 314 417		Altitud : 4 422 (msnm)
Información General del lugar evaluado			
Acceso al Sitio	Acceso Controlado	Área de paso para vecinos	Presencia de instalaciones / Construcciones
A pie	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>
Camioneta <input checked="" type="checkbox"/>	No	No <input checked="" type="checkbox"/>	No
Otro (Especificar):	Observación:	Observación:	Función:
			Depósitos de Relaves
Presencia de residuos en exterior o interior de instalaciones	Existen evidencias de disposición final de residuos	Existen Tanques de combustible o de otros productos químicos	Existen evidencias de derrames en el sitio
Sí	Sí	Sí	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	Observación (coordenadas):	Observación:	Observación:
Coloración o decoloración de suelos y pisos	Presencia de Olores extraños	Impermeabilización Deficiente (charcos o costras)	Suelo retirado del local o Amontonado en Pilas
Sí	Sí	Sí	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	Observación:	Observación:	Observación:
Actividades Observadas (momento de inspección)		Áreas recreativas y de reunión de niños	Existe Cobertura Vegetal
Industrial <input checked="" type="checkbox"/>	Comercial	Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>
Agrícola	Recreativa	No <input checked="" type="checkbox"/>	No
Residencial	Abandonada <input checked="" type="checkbox"/>	Especificar :	Indicar Tipo de Vegetación:
Otro (Especificar):			pastos naturales / ichu
Áreas de Cultivo	Presencia de Personas habitando el sitio	Presencia de especies de Fauna	Se crían animales para consumo humano
Sí	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	Sí <input checked="" type="checkbox"/>	Sí
No <input checked="" type="checkbox"/>	No	No	No <input checked="" type="checkbox"/>
Indicar tipos de cultivos:	Indicar número de viviendas y características:	Especies observadas durante la inspección:	Especies observadas durante la inspección:
	se observan 4 o 5 viviendas a varios metros de distancia	auquéñidos	
Cuerpos de agua en el sitio o próximos (metros)	Uso de cuerpos de agua	Existen pozos de extracción de agua subterránea	
Quebradas	Consumo humano Pesca	Sí	
Lagunas	Consumo de animales Recreativo	No <input checked="" type="checkbox"/>	
Ríos <input checked="" type="checkbox"/>	Productivo	Especificar Uso:	
Otro (Especificar)	Otro (Especificar):		
	No identificado		

## ANEXO 02: Fichas de Muestreo de Suelos

### Datos Generales

Nombre del sitio en estudio:	API A - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

### Datos del punto de muestreo

Nombre del Punto de Muestreo:	ENSC1-1			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192802	Norte: 8318249	Altura: 4504	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

### Datos de la muestra:

Clave de la muestra:	ENSC1-1
Fecha:	07/08/2016
Hora:	11:08
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/3 - Pardo
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Arena Francosa
Componentes Antropogenicos	Deposito de Desmonte 01 / Deposito de Desmonte 02 / Deposito de Desmonte 03
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**



**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API A - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>ENSC1-2</b>			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192609	Norte: 8318291	Altura: 4506	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie):	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	ENSC1-2
Fecha:	07/08/2016
Hora:	12:11
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
<b>Características organolépticas</b>	
Color:	10YR 7/2 - Gris claro
Olor:	No se registro ningún olor
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 01 / Deposito de Desmonte 02 / Deposito de Desmonte 03
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
<b>Muestras Superficiales compuestas</b>	
Área de muestreo	-
Número de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API A - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>ENSC1-3</b>			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192641	Norte: 8318604	Altura: 4492	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie):	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	ENSC1-3
Fecha:	07/08/2016
Hora:	14:29
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
<b>Características organolépticas</b>	
Color:	10YR 4/4 - Pardo amarillento oscuro
Olor:	No se registro ningún olor
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 01 / Deposito de Desmonte 02 / Deposito de Desmonte 03
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
<b>Muestras Superficiales compuestas</b>	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API A - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>ENSC1-4</b>			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192580	Norte: 8318817	Altura: 4575	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie):	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	ENSC1-4
Fecha:	07/08/2016
Hora:	15:04
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
<b>Características organolépticas</b>	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningún olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 01 / Deposito de Desmonte 02 / Deposito de Desmonte 03
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
<b>Muestras Superficiales compuestas</b>	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API A - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	MSCNv11-1			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192618	Norte: 8318428	Altura: 4505	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final: (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	MSCNv11-1
Fecha:	06/02/2015
Hora:	15:40
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
<b>Características organolépticas</b>	
Color:	10YR 4/6 - Pardo amarillento oscuro
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Arenosa
Componentes Antropogenicos	Deposito de Desmonte 01 / Deposito de Desmonte 02 / Deposito de Desmonte 03
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
<b>Muestras Superficiales compuestas</b>	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API B - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	MSCNv12-1			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192592	Norte: 8317822	Altura: 4486	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	MSCNv12-1
Fecha:	06/02/2015
Hora:	16:06
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	2.5YR 3/3 - Pardo rojizo oscuro
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 04
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API B - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>ENSC2-2</b>			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192576	Norte: 8317786	Altura: 4484	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	ENSC2-2
Fecha:	06/08/2016
Hora:	16:21
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Arena Francosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 04
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API B - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	MSCNv12-2			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192583	Norte: 8317827	Altura: 4484	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	MSCNv12-2
Fecha:	07/02/2015
Hora:	8:12
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 4/4 - Pardo amarillento oscuro
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte 04
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API B - Área de estudio 1	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	MSCNv12-4			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 192585	Norte: 8317847	Altura: 4482	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad (en metros bajo la superficie):	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Si, material propio

**Datos de la muestra:**

Datos de la muestra:	MSCNv12-4
Fecha:	25/09/2014
Hora:	10:30
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	Deposito de Desmonte Nv 12 San Cristobal / Bocamina San Cristobal Nv 12
Cantidad de la Muestra	Deposito de Desmonte 04
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API C - Área de estudio 2	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	ENZSF-1			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 195702	Norte: 8314365	Altura: 4415	Descripción de la superficie:	Vegetal
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	ENZSF-1
Fecha:	07/08/2016
Hora:	8:00
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogénicos	Depósito de Relaves
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Área de muestreo	-
Número de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API C - Área de estudio 2	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	ENZSF-2			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 196055	Norte: 8314354	Altura: 4415	Descripción de la superficie:	Vegetal
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	ENZSF-2
Fecha:	07/08/2016
Hora:	8:17
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	2.5 Y 7/2 - Gris claro
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogenicos	Depósito de Relaves
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API C - Área de estudio 2	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	ENZSF-3			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 196328	Norte: 8314333	Altura: 4418	Descripción de la superficie:	Vegetal
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	ENZSF-3
Fecha:	07/08/2016
Hora:	8:39
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogénicos	Depósito de Relaves
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Área de muestreo	-
Número de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API C - Área de estudio 2	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	ENZSF-4			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 196199	Norte: 8313939	Altura: 4436	Descripción de la superficie:	Vegetal
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	ENZSF-4
Fecha:	07/08/2016
Hora:	9:11
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	2.5 Y 5/2 - Pardo grisáceo
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogenicos	Depósito de Relaves
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	API C - Área de estudio 2	Departamento:	Arequipa
Razón social:		Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Minería	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	ENZSF-5			Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	Este: 195600	Norte: 8314091	Altura: 4440	Descripción de la superficie:	Vegetal
Temperatura (°C):				Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas			Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm			Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No			Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	ENZSF-5
Fecha:	07/08/2016
Hora:	9:29
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	10YR 5/4 - Pardo amarillento
Olor:	No se registro ningun olor
Textura	Francosa
Componentes Antropogenicos	Depósito de Relaves
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Simple
Muestras Superficiales compuestas	
Area de muestreo	-
Numero de submuestras	-

**FOTO**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	Quebrada Trinidad	Departamento:	Arequipa
Razón social:	-	Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Pajonal de Puna	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>M-2: PNF-4/PNF-5/PNF-6</b>	Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	PNF-4: Este: 196290 Norte: 8319252 Altura: 4593 PNF-5: Este: 196257 Norte: 8319321 Altura: 4597 PNF-6: Este: 196230 Norte: 8319298 Altura: 4600	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):		Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas	Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm	Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No	Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	M-2
Fecha:	05/02/2015
Hora:	9:50
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	7.5YR 4/3 - Pardo
Olor:	-
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	-
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Compuesta
Muestras Superficiales compuestas	
Numero de submuestras	3

**PNF-4****PNF-5****PNF-6**

**Datos Generales**

Nombre del sitio en estudio:	Quebrada Lamamayo	Departamento:	Arequipa
Razón social:	-	Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Pajonal de Puna	Dirección del Predio:	Caylloma

**Datos del punto de muestreo**

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>M-3: PNF-7/PNF-8/PNF-9</b>	Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	PNF-7: Este: 195401 Norte: 8318474 Altura: 4734 PNF-8: Este: 195488 Norte: 8318449 Altura: 4733 PNF-9: Este: 195599 Norte: 8318443 Altura: 4729	Descripción de la superficie:	Vegetación
Temperatura (°C):		Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas	Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm	Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No	Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:	M-3
Fecha:	06/02/2015
Hora:	11:20
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	2.5YR 3/2 - Rojo parduzco
Olor:	-
Textura	Franco arenosa
Componentes Antropogénicos	-
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Compuesta
Muestras Superficiales compuestas	
Numero de submuestras	3

PNF-7



PNF-8



PNF-9



### Datos Generales

Nombre del sitio en estudio:	Quebrada del Rio Santiago	Departamento:	Arequipa
Razón social:	-	Provincia:	Caylloma
Uso Principal:	Pajonal de Puna	Dirección del Predio:	Caylloma

### Datos del punto de muestreo

Nombre del Punto de Muestreo:	<b>M-4: PNF-10/PNF-11/PNF-12</b>	Operador:	CORPLAB
Coordenadas (UTM, WGS84, Zona 19L):	PNF-10: Este: 194383 Norte: 8315334 Altura: 4428	Descripción de la superficie:	Vegetal
	PNF-11: Este: 194416 Norte: 8315303 Altura: 4428		
	PNF-12: Este: 194484 Norte: 8315301 Altura: 4426		
Temperatura (°C):		Precipitación:	No
Técnica de Muestreo:	Sondeo Manual - Calicatas	Instrumentos usados:	Pala, Pico, Bolsas de muestreo
Profundidad final : (en metros bajo la superficie)	10 cm	Napa freática :	No
Instalación de un Pozo en el agujero:	No	Relleno del agujero después del muestreo:	Sí, material propio

### Datos de las muestras:

Clave de la muestra:	M-4
Fecha:	25/09/2014
Hora:	16:20
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	10 cm
Características organolépticas	
Color:	7.5YR 5/4 - Pardo
Olor:	-
Textura	Francosa
Componentes Antropogénicos	-
Cantidad de la Muestra	1,5 Kg
Medidas de conservación	Tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocan en los coolers, en posición vertical, con sus respectivos ice packs (o refrigerantes), a una temperatura aproximada de 4°C a 6°C. Bajo ninguna circunstancia las muestras deberán congelarse.
Tipo de muestra	Compuesta
Muestras Superficiales compuestas	
Numero de submuestras	3

**PNF-10**



**PNF-11**



**PNF-12**



### ANEXO 03: Resultados de los Análisis

Estaciones	Textura	pH	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sn	Sr	P
ENSC1-1	Francosa	N.D.	20696,00	< 5,00	66,75	106,90	1,00	< 6,00	31,18	2,07	5723,00	16,94	58,85	42,46	< 5,00	43,81	1422,00
ENSC1-2	arenosa	N.D.	12271,00	< 5,00	92,02	97,23	0,98	< 6,00	25,74	4,38	4830,00	13,14	67,81	12,87	< 5,00	34,70	871,00
ENSC1-3	arenosa	N.D.	20644,00	< 5,00	150,70	132,00	1,29	< 6,00	34,78	4,04	11419,00	19,32	119,60	45,25	< 5,00	60,46	1570,00
ENSC1-4	Francosa	N.D.	11782,00	< 5,00	116,00	89,70	0,83	< 6,00	30,13	4,40	3675,00	13,92	103,10	17,99	< 5,00	26,56	880,00
MSCNv11-1	Arenosa	4,97	14534,00	< 5,00	68,97	101,50	0,57	< 6,00	26,30	< 1,00	456,50	9,50	21,29	10,57	< 5,00	16,62	905,90
ENSC2-2	Francosa	N.D.	20327,00	< 5,00	150,70	154,20	0,70	< 6,00	34,75	< 1,00	2600,00	9,25	29,83	13,17	< 5,00	32,70	765,40
MSCNv12-1	arenosa	5,17	15692,00	< 5,00	79,92	104,40	0,62	< 6,00	28,44	1,22	310,70	9,26	22,94	11,56	< 5,00	15,02	782,00
MSCNv12-2	arenosa	6,24	18291,00	< 5,00	128,90	83,66	0,90	< 6,00	39,40	1,46	3887,00	21,41	65,05	43,67	< 5,00	29,78	1161,00
MSCNv12-4	arenosa	N.D.	16889,00	< 5,00	140,10	200,00	1,10	< 6,00	33,60	2,10	9778,00	17,20	55,40	28,80	< 5,00	54,30	2432,00
ENZSF-1	Francosa	N.D.	17953,00	< 5,00	81,92	119,30	0,94	< 6,00	30,06	< 1,00	1655,00	14,20	36,54	18,08	< 5,00	16,68	950,80
ENZSF-2	Francosa	N.D.	14426,00	< 5,00	323,60	163,70	1,14	< 6,00	44,09	1,11	1342,00	21,83	37,41	19,03	< 5,00	15,27	1085,00
ENZSF-3	Francosa	N.D.	19505,00	< 5,00	33,41	146,10	0,65	< 6,00	25,42	< 1,00	2016,00	11,17	21,55	17,92	< 5,00	32,38	987,90
ENZSF-4	Francosa	N.D.	19201,00	< 5,00	17,37	101,70	0,59	< 6,00	22,19	< 1,00	934,90	7,54	18,64	14,94	< 5,00	16,82	887,30
ENZSF-5	Francosa	N.D.	26898,00	< 5,00	12,06	274,40	0,95	< 6,00	27,84	< 1,00	4429,00	12,47	27,35	37,60	< 5,00	55,24	1140,00
M-2	arenosa	6,30	17696,00	< 5,00	392,90	292,30	1,33	< 6,00	61,12	6,25	8343,00	28,58	82,87	27,36	< 5,00	39,86	1213,00
M-3	arenosa	3,92	13930,00	< 5,00	96,30	57,68	< 0,20	< 6,00	31,01	< 1,00	150,80	7,51	77,69	8,54	< 5,00	10,10	639,70
M-4	Francosa	N.D.	8168,00	< 5,00	71,90	114,20	1,4	< 6,00	20,80	4,7	48446,00	4,90	57,40	8,50	< 5,00	91,50	473,90
S-SCR-01	N.D.	N.D.	27842,96	0,69	87,52	190,31	0,79	< 0,03	5,62	1,95	6625,46	14,43	80,45	86,02	8,9	33,70	1599,12
S-SCR-02	N.D.	N.D.	24546,55	0,48	99,63	113,73	0,79	< 0,03	4,19	1,71	8790,51	13,78	59,45	68,46	13,31	34,31	1563,44
S-SCA-01	N.D.	N.D.	32338,95	0,68	262,59	298,74	1,12	< 0,03	5,33	2,07	4446,97	10,65	61,71	86,62	13,37	26,82	1145,80
S-SCA-02	N.D.	N.D.	27281,93	0,51	177,47	207,18	1,06	< 0,03	3,46	2,16	5181,05	11,30	52,54	58,44	7,9	27,59	1050,82
S-SCA-03	N.D.	N.D.	24401,06	1,09	184,89	172,73	0,98	< 0,03	2,45	1,59	3096,89	13,65	83,38	57,69	6,34	22,70	1392,93
S-SFR-01	N.D.	N.D.	31550,45	< 0,02	15,93	369,15	0,96	< 0,03	5,95	1,69	7267,65	17,32	41,48	72,91	10,02	51,30	1970,11
S-SFR-02	N.D.	N.D.	33084,21	< 0,02	15,45	430,62	0,88	< 0,03	5,43	1,9	6634,19	16,12	72,19	65,55	5,07	50,20	1608,82
S-SFR-03	N.D.	N.D.	17340,89	0,29	197,79	147,75	0,51	< 0,03	6,74	1,69	4495,39	9,67	50,07	56,03	10,55	35,46	1257,51
S-SFR-04	N.D.	N.D.	19287,12	0,45	63,72	168,83	0,53	< 0,03	7,32	1,1	4646,22	7,55	43,20	59,79	9,45	25,76	1052,99
MS-01	N.D.	N.D.	12734,00	< 5,00	131,70	187,10	< 0,2	< 6,00	24,60	1,5	138,30	7,40	43,00	11,10	< 5,00	24,60	1436,00
MS-02	N.D.	N.D.	11957,00	< 5,00	193,40	131,50	< 0,2	< 6,00	11,00	< 1,00	84,60	4,00	19,90	8,60	< 5,00	7,60	510,60
MS-03	N.D.	N.D.	10464,00	< 5,00	50,50	164,90	< 0,2	< 6,00	11,20	< 1,00	131,40	5,10	15,80	6,80	< 5,00	19,80	956,10
MS-04	N.D.	N.D.	23208,00	< 5,00	40,40	66,20	1,4	< 6,00	24,10	1,6	2421,00	28,10	59,20	20,20	< 5,00	26,50	1588,00
MS-05	N.D.	N.D.	20946,00	< 5,00	17,90	173,90	0,8	< 6,00	12,30	< 1,00	2200,00	11,20	22,00	20,30	< 5,00	26,70	1062,00
MS-06	N.D.	N.D.	17284,00	< 5,00	31,20	91,40	1,5	< 6,00	17,40	1,3	4767,00	24,20	120,20	64,70	< 5,00	21,70	1242,00
MS-07	N.D.	N.D.	26048,00	< 5,00	219,30	98,30	1,3	< 6,00	20,60	2,9	2015,00	18,70	110,90	65,50	< 5,00	32,70	1451,00
MS-08	N.D.	N.D.	20218,00	< 5,00	74,70	126,10	0,8	< 6,00	16,40	2,4	1494,00	16,70	44,90	25,80	< 5,00	21,30	2244,00
MS-09	N.D.	N.D.	20553,00	< 5,00	120,50	146,80	1,1	< 6,00	18,50	3,1	1623,00	20,70	48,20	35,70	< 5,00	22,70	1262,00
MS-10	N.D.	N.D.	18744,00	< 5,00	686,60	101,90	2,4	< 6,00	16,50	1,4	3795,00	15,50	30,30	6,80	< 5,00	72,70	569,90
MS-11	N.D.	N.D.	30984,00	< 5,00	15,20	120,40	0,9	< 6,00	13,60	< 1,00	717,90	12,30	27,50	12,90	< 5,00	23,20	1483,00

N.D. : No determinado. Resultados extraídos del Suplemento del Informe de Ensayo No 41641L/10-MA del laboratorio Inspectorate, Informes de ensayo 16079/2013, 3917/2015, 3919/2015, 8020/2015, 28823/2016 del laboratorio Corplab.

Continuación

Estaciones	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Mo	Ni	Ag	Pb	K	Se	Si	Na	Tl	Ti	V	Zn
ENSC1-1	26948,00	20,88	11585,00	2877,00	0,19	< 4,00	43,32	9,03	122,80	1494,00	< 1,00	1239,00	151,30	< 1,00	877,00	56,15	261,70
ENSC1-2	21468,00	10,02	6018,00	3520,00	0,97	< 4,00	14,45	10,46	114,70	1259,00	< 1,00	991,70	87,74	< 1,00	240,10	34,51	588,40
ENSC1-3	26892,00	27,77	12427,00	8533,00	2,09	< 4,00	51,49	81,74	190,00	1250,00	< 1,00	820,70	140,30	< 1,00	745,00	55,78	351,00
ENSC1-4	22553,00	12,96	6726,00	7184,00	0,48	< 4,00	17,23	14,07	171,80	959,70	< 1,00	863,10	71,44	< 1,00	290,80	39,11	650,70
MSCNv11-1	20550,00	< 8,00	2360,00	518,00	0,06	< 4,00	10,25	< 2,00	13,87	1632,00	< 1,00	1376,00	89,64	< 1,00	215,30	29,83	55,36
ENSC2-2	28458,00	10,11	4316,00	1007,00	0,26	< 4,00	9,71	< 2,00	40,16	1550,00	< 1,00	1295,00	96,88	< 1,00	330,30	48,40	97,73
MSCNv12-1	21796,00	< 8,00	2571,00	505,90	0,04	< 4,00	11,65	< 2,00	15,74	1898,00	< 1,00	2035,00	80,49	< 1,00	234,90	31,01	98,34
MSCNv12-2	32033,00	18,57	12215,00	1960,00	0,03	< 4,00	41,13	< 2,00	62,13	1358,00	< 1,00	1062,00	94,51	< 1,00	275,10	52,43	188,60
MSCNv12-4	27200,00	14,70	7115,00	3896,00	0,61	< 4,00	32,60	8,50	96,30	3000,00	< 1,0	1329,00	273,90	< 1,00	434,30	45,80	276,70
ENZSF-1	24341,00	< 8,00	4317,00	1273,00	0,15	< 4,00	21,91	< 2,00	39,83	1940,00	< 1,00	1120,00	65,06	< 1,00	221,60	37,90	101,80
ENZSF-2	37888,00	< 8,00	4714,00	1443,00	0,09	< 4,00	27,58	< 2,00	42,63	1263,00	< 1,00	1199,00	157,00	< 1,00	277,30	42,86	100,60
ENZSF-3	20774,00	8,30	4037,00	895,60	0,21	< 4,00	17,50	< 2,00	22,62	1307,00	< 1,00	1452,00	159,20	< 1,00	729,10	45,29	90,85
ENZSF-4	16940,00	< 8,00	2673,00	451,20	0,28	< 4,00	15,01	< 2,00	16,79	1402,00	< 1,00	1293,00	115,20	< 1,00	581,70	37,06	77,46
ENZSF-5	21913,00	18,25	5317,00	517,40	0,10	< 4,00	31,40	< 2,00	18,78	1835,00	< 1,00	1392,00	117,50	< 1,00	581,60	50,20	81,53
M-2	47312,00	16,34	7158,00	23065,00	13,36	4,33	30,75	27,80	222,50	949,00	< 1,00	1141,00	65,29	20,38	235,90	53,38	627,50
M-3	25199,00	9,68	5197,00	256,50	0,53	< 4,00	8,89	< 2,00	86,77	1418,00	< 1,00	1114,00	24,30	< 1,00	144,20	44,22	83,93
M-4	13899,00	< 8,0	3124,00	21208,00	0,79	< 4,00	7,30	44,60	182,20	1293,00	< 1,0	1279,00	74,10	25,30	125,60	25,10	654,90
S-SCR-01	33505,00	49,23	21175,75	3536,64	<0,01	0,52	59,61	8,72	48,47	4972,07	<0,02	NA	228,82	1,15	669,13	85,66	251,37
S-SCR-02	32181,05	44,70	18821,61	3681,87	<0,01	0,41	48,03	3,11	40,64	3797,56	<0,02	NA	228,10	0,99	752,89	77,84	209,92
S-SCA-01	44409,19	27,28	11077,81	4114,94	<0,01	1,22	23,69	3,28	32,63	5737,25	<0,02	NA	198,77	0,90	263,65	72,44	166,70
S-SCA-02	34166,62	31,08	10636,21	3809,29	<0,01	1,11	26,35	3,48	40,66	3982,42	<0,02	NA	195,02	1,03	166,26	60,19	143,36
S-SCA-03	36269,69	31,86	11383,48	6694,16	<0,01	0,88	24,25	5,95	99,79	4180,17	<0,02	NA	176,11	1,49	188,58	65,86	275,20
S-SFR-01	37822,36	21,22	11303,49	1279,94	<0,01	0,56	61,91	0,31	20,63	5360,04	<0,02	NA	253,45	1,12	507,37	81,91	142,14
S-SFR-02	37348,36	20,52	10456,20	1152,39	<0,01	0,47	67,47	0,28	21,86	5022,57	<0,02	NA	220,03	1,04	608,61	89,17	149,10
S-SFR-03	27711,99	14,86	7244,65	1021,23	<0,01	1,11	19,61	0,71	27,56	5054,88	<0,02	NA	289,65	0,98	467,21	49,51	129,40
S-SFR-04	23907,72	16,28	7742,83	307,05	<0,01	0,50	17,25	0,61	24,00	5463,50	<0,02	NA	229,07	0,80	280,64	53,08	139,03
MS-01	39747,00	< 8,00	1978,00	163,90	<0,2	15,80	<5	< 2,00	332,20	2826,00	< 1,00	763,20	66,70	4,10	257,70	47,40	48,60
MS-02	14807,00	< 8,00	1134,00	144,50	<0,2	4,50	<5	< 2,00	<10	2733,00	< 1,00	672,10	51,40	< 1,00	200,60	23,30	23,20
MS-03	18682,00	< 8,00	1009,00	225,40	<0,2	< 4,00	<5	< 2,00	11,70	995,90	< 1,00	556,20	55,90	< 1,00	334,00	24,20	31,30
MS-04	37370,00	30,60	13435,00	1826,00	<0,2	< 4,00	14,00	< 2,00	26,00	1274,00	< 1,00	469,90	91,10	< 1,00	505,00	85,10	98,20
MS-05	20664,00	21,40	5732,00	701,80	<0,2	< 4,00	17,30	< 2,00	13,00	1277,00	< 1,00	539,90	88,50	< 1,00	287,70	38,20	77,20
MS-06	27571,00	52,10	11928,00	1609,00	<0,2	< 4,00	54,80	< 2,00	20,20	1735,00	< 1,00	402,00	63,70	< 1,00	547,60	48,80	93,00
MS-07	33595,00	28,70	10375,00	3617,00	<0,2	< 4,00	47,70	< 2,00	332,80	1637,00	< 1,00	544,40	51,40	< 1,00	153,20	56,40	452,30
MS-08	25362,00	20,70	6573,00	3225,00	<0,2	< 4,00	24,10	< 2,00	144,30	1629,00	< 1,00	640,20	120,20	4,50	603,70	47,10	232,20
MS-09	29327,00	23,30	8101,00	4740,00	<0,2	< 4,00	39,40	2,20	105,40	1787,00	< 1,00	505,10	69,20	< 1,00	497,10	50,60	303,80
MS-10	28789,00	21,50	3131,00	1068,00	<0,2	< 4,00	<5	< 2,00	14,70	1542,00	< 1,00	518,30	60,20	< 1,00	193,20	29,50	69,50
MS-11	21004,00	16,00	3120,00	877,30	<0,2	< 4,00	9,70	< 2,00	17,90	1446,00	< 1,00	834,10	137,50	4,60	960,70	50,30	69,70

Resultados extraídos del Suplemento del Informe de Ensayo No 41641L/10-MA del laboratorio Inspectorate, Informes de ensayo 16079/2013, 3917/2015, 3919/2015, 8020/2015, 28823/2016 del laboratorio Corplab.

## ANEXO 04: Pruebas de Normalidad

### 1. AREA DE ESTUDIO 1 Y 2

Resumen:

Variable\Prueba	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Aluminio (Al)	0,569	0,597	0,419	0,776
Arsenico (As)	<b>0,024</b>	0,076	0,112	<b>0,013</b>
Bario (Ba)	<b>0,010</b>	<b>0,017</b>	0,144	<b>0,025</b>
Berilio (Be)	0,510	0,523	0,637	0,726
Boro (B)	0,616	0,558	0,748	0,563
Cadmio (Cd)	<b>0,0003</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,005</b>	0,201
Calcio (Ca)	<b>0,037</b>	0,060	0,391	0,215
Cobalto (Co)	0,410	0,514	0,723	0,622
Cobre (Cu)	<b>0,024</b>	<b>0,035</b>	0,081	0,269
Cromo (Cr)	<b>0,010</b>	<b>0,006</b>	<b>0,003</b>	0,382
Estroncio (Sr)	0,066	0,098	0,189	0,533
Fosforo (P)	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,012</b>	<b>0,0003</b>
Hierro (Fe)	0,261	0,212	0,306	0,376
Litio (Li)	<b>0,007</b>	<b>0,007</b>	<b>0,020</b>	0,252
Magnesio (Mg)	<b>0,022</b>	<b>0,024</b>	0,254	0,389
Manganeso (Mn)	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,048</b>	0,092
Mercurio (Hg)	<b>0,0002</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Niquel (Ni)	0,138	0,166	0,126	0,503
Plata (Ag)	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Plomo (Pb)	<b>0,019</b>	<b>0,020</b>	<b>0,025</b>	0,371
Potasio (K)	<b>0,010</b>	<b>0,020</b>	0,256	<b>0,003</b>
Sodio (Na)	<b>0,011</b>	<b>0,034</b>	0,290	<b>0,008</b>
Titanio (Ti)	<b>0,018</b>	<b>0,014</b>	<b>0,025</b>	0,414
Vanadio (V)	0,654	0,857	0,892	0,666
Zinc (Zn)	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	0,124

*Los valores en rojo indican que el valor-p calculado es menor que el nivel de significación alfa=0.05 por lo que la variable no sigue una distribución normal*

## 2. NIVEL DE FONDO

Resumen:

Variable\Prueba	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Aluminio (Al)	0,656	0,857	0,927	0,658
Arsenico (As)	< 0,0001	0,0002	0,015	< 0,0001
Bario (Ba)	0,004	0,003	0,011	0,017
Berilio (Be)	0,084	0,233	0,358	0,225
Boro (B)	0,0002	0,003	0,122	< 0,0001
Cadmio (Cd)	< 0,0001	< 0,0001	0,002	< 0,0001
Calcio (Ca)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cobalto (Co)	0,246	0,445	0,884	0,465
Cobre (Cu)	0,355	0,482	0,492	0,492
Cromo (Cr)	0,010	0,006	0,036	0,326
Estroncio (Sr)	0,001	0,0003	0,005	< 0,0001
Fosforo (P)	0,514	0,441	0,494	0,990
Hierro (Fe)	0,946	0,957	0,924	0,808
Litio (Li)	0,029	0,062	0,155	0,257
Magnesio (Mg)	0,174	0,303	0,581	0,429
Manganeso (Mn)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Mercurio (Hg)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Niquel (Ni)	0,015	0,020	0,103	0,303
Plata (Ag)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Plomo (Pb)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,003
Potasio (K)	0,002	0,001	0,0003	0,246
Sodio (Na)	0,011	0,003	0,007	0,306
Titanio (Ti)	0,032	0,036	0,024	0,304
Vanadio (V)	0,187	0,226	0,330	0,659
Zinc (Zn)	0,0003	0,0002	0,007	0,002

*Los valores en rojo indican que el valor-p calculado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0.05$  por lo que la variable no sigue una distribución normal*

**ANEXO 05**  
**Análisis Estadísticos - SoQI**

**Soil Quality Index 1.0**

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	<b>79</b>
Rank	<b>Low</b>
F1 (Scope)	25,0
F2 (Frequency)	5,0
F3 (Amplitude)	25,7
Total Tests	180
Tests Failed	9
Sum of Non-Compliance	3,1

**In-depth Report Options**

**Site Name:**

Caylloma

**Site Description:**

Identificacion de sitios contaminados

**Project Number:**

AREA DE ESTUDIO 1

**Ranking Categories**

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

**Soil Quality Index 1.0**

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	Industrial Coarse
Rank	67
F1 (Scope)	Medium
F2 (Frequency)	5,3
F3 (Amplitude)	1,1
Total Tests	56,7
Tests Failed	95
Sum of Non-Compliance	1
	1,3

**In-depth Report Options**

**Site Name:**

Caylloma

**Site Description:**

Identificacion de sitios contaminados

**Project Number:**

AREA DE ESTUDIO 2

**Ranking Categories**

Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

**Soil Quality Index 1.0**

File Used:

Date the Index was Calculated:

#####

Site SoQI Summary	Guidelines Used
SoQI	<b>70</b>
Rank	<b>Low</b>
F1 (Scope)	33,3
F2 (Frequency)	5,8
F3 (Amplitude)	40,3
Total Tests	396
Tests Failed	23
Sum of Non-Compliance	15,5

**In-depth Report Options**

**Site Name:**

Caylloma

**Site Description:**

Identificación de Sitios Contaminados

**Project Number:**

NIVEL DE FONDO

**Ranking Categories**

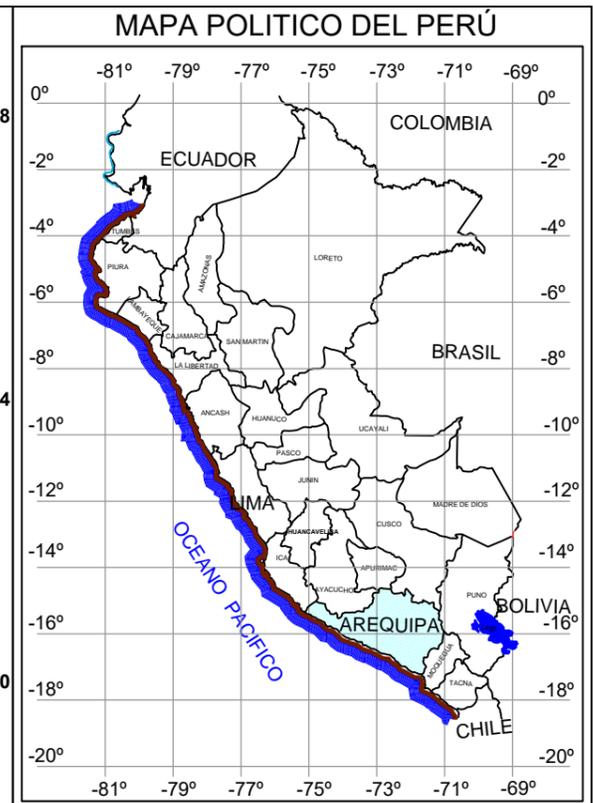
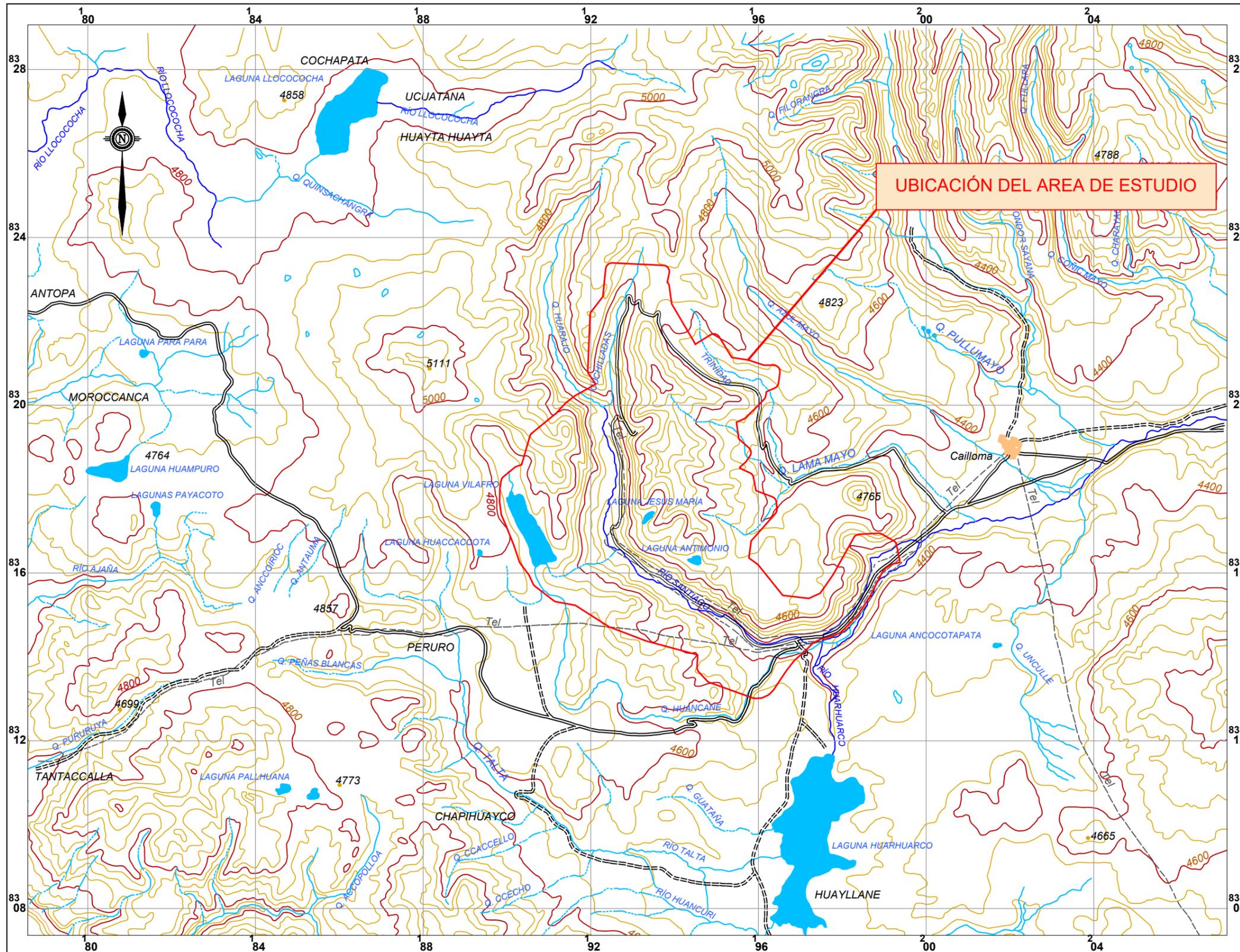
Level of Concern	Minimum Value
Very Low	90
Low	70
Medium	50
High	30
Very High	0

## ANEXO 06: Índice de Geoacumulación

### I. Índices de Geoacumulación individuales y promedios

	Estaciones	Al	As	Ba	Be	B	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sr	P	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	Ni	Ag	Pb	K	Na	Ti	V	Zn
Área de estudio 1	ENSC1-1	-2,5887	4,6277	-2,5762	-2,0704	1,0557	2,7866	-3,4432	-1,1465	-0,4874	-1,8208	-3,6825	-0,1474	-1,6479	-0,5228	-1,5930	1,0136	0,6630	-1,3768	6,4263	2,7113	-4,3912	-7,8702	-3,2853	-1,8506	1,3175
	ENSC1-2	-3,3428	5,0909	-2,7130	-2,0995	0,7790	3,8679	-3,6880	-1,5129	-0,2829	-3,5429	-4,0188	-0,8546	-1,9759	-1,5821	-2,5379	1,3046	3,0150	-2,9608	6,6383	2,6129	-4,6381	-8,6563	-5,1542	-2,5528	2,4864
	ENSC1-3	-2,5924	5,8026	-2,2719	-1,7030	1,2133	3,7513	-2,4466	-0,9568	0,5358	-1,7290	-3,2178	-0,0046	-1,6509	-0,1114	-1,4918	2,5821	4,1224	-1,1276	9,6045	3,3410	-4,6485	-7,9791	-3,5206	-1,8601	1,7411
	ENSC1-4	-3,4015	5,4250	-2,8292	-2,3392	1,0062	3,8745	-4,0823	-1,4297	0,3216	-3,0597	-4,4045	-0,8398	-1,9048	-1,2109	-2,3775	2,3338	2,0000	-2,7069	7,0661	3,1958	-5,0297	-8,9528	-4,8778	-2,3723	2,6316
	MSCNv11-1	-3,0986	4,6749	-2,6509	-2,8814	0,8101	1,7370	-7,0913	-1,9809	-1,9542	-3,8269	-5,0809	-0,7979	-2,0390	-1,9069	-3,8884	-1,4599	-1,0000	-3,4562	4,2515	-0,4349	-4,2638	-8,6254	-5,3115	-2,7631	-0,9235
	ENSC2-2	-2,6147	5,8026	-2,0476	-2,5850	1,2121	1,7370	-4,5815	-2,0194	-1,4676	-3,5096	-4,1045	-1,0411	-1,5693	-1,5692	-3,0175	-0,5009	1,1155	-3,5343	4,2515	1,0989	-4,3381	-8,5133	-4,6941	-2,0648	-0,1035
	MSCNv12-1	-2,9880	4,8875	-2,6103	-2,7600	0,9230	2,0238	-7,6464	-2,0178	-1,8465	-3,6977	-5,2269	-1,0101	-1,9540	-1,9069	-3,7649	-1,4940	-1,5850	-3,2715	4,2515	-0,2525	-4,0459	-8,7807	-5,1858	-2,7071	-0,0945
	MSCNv12-2	-2,7669	5,5771	-2,9298	-2,2224	1,3932	2,2829	-4,0013	-0,8086	-0,3428	-1,7802	-4,2394	-0,4400	-1,3985	-0,6920	-1,5166	0,4599	-2,0000	-1,4517	4,2515	1,7284	-4,5289	-8,5491	-4,9579	-1,9495	0,8449
MSCNv12-4	-2,8820	5,6974	-1,6724	-1,9329	1,1635	2,8074	-2,6705	-1,1245	-0,5745	-2,3808	-3,3728	0,6268	-1,6345	-1,0291	-2,2964	1,4510	2,3458	-1,7870	6,3390	2,3606	-3,3854	-7,0140	-4,2992	-2,1445	1,3979	
	<b>Promedio</b>	-2,8903	5,3543	-2,4234	-2,2421	1,0746	3,0047	-3,7145	-1,3770	-0,4491	-2,5764	-4,0112	-0,3937	-1,7377	-1,0433	-2,2674	1,2260	2,1308	-2,1268	7,1238	2,2939	-4,2923	-8,1963	-4,4008	-2,2132	1,4426
Área de estudio 2	ENZSF-1	-2,7938	4,9232	-2,4178	-2,1597	1,0029	1,7370	-5,2332	-1,4010	-1,1749	-3,0525	-5,0757	-0,7281	-1,7947	-1,9069	-3,0172	-0,1627	0,3219	-2,3603	4,2515	1,0870	-4,0143	-9,0878	-5,2699	-2,4177	-0,0447
	ENZSF-2	-3,1094	6,9051	-1,9614	-1,8814	1,5555	1,8875	-5,3356	-0,7806	-1,1410	-2,9786	-5,2031	-0,5377	-1,1564	-1,9069	-2,8903	0,0181	-0,4150	-2,0282	4,2515	1,1850	-4,6335	-7,8168	-4,9464	-2,2402	-0,0618
	ENZSF-3	-2,6742	3,6292	-2,1255	-2,6919	0,7610	1,7370	-4,9485	-1,7473	-1,9367	-3,0653	-4,1187	-0,6729	-2,0233	-1,8538	-3,1139	-0,6700	0,8074	-2,6845	4,2515	0,2707	-4,5841	-7,7968	-3,5517	-2,1607	-0,2088
	ENZSF-4	-2,6969	2,6856	-2,6481	-2,8316	0,5649	1,7370	-6,0571	-2,3143	-2,1460	-3,3277	-5,0636	-0,8279	-2,3177	-1,9069	-3,7088	-1,6591	1,2224	-2,9059	4,2515	-0,1593	-4,4829	-8,2635	-3,8776	-2,4500	-0,4389
	ENZSF-5	-2,2106	2,1592	-1,2161	-2,1444	0,8922	1,7370	-3,8130	-1,5884	-1,5929	-1,9962	-3,3481	-0,4663	-1,9463	-0,7171	-2,7166	-1,4616	-0,2630	-1,8411	4,2515	0,0023	-4,0946	-8,2349	-3,8778	-2,0122	-0,3650
	<b>Promedio</b>	-2,6675	5,1166	-1,9850	-2,2981	0,9961	1,7684	-4,9066	-1,4801	-1,5437	-2,8016	-4,3660	-0,6407	-1,7929	-1,5692	-3,0529	-0,6375	0,4681	-2,3104	4,2515	0,5852	-4,3387	-8,1714	-4,1601	-2,2469	-0,2152
Nivel de Fondo	M-2	-2,8147	7,1851	-1,1250	-1,6590	2,0267	4,3808	-2,8994	-0,3919	0,0065	-2,4548	-3,8188	-0,3768	-0,8359	-0,8766	-2,2877	4,0167	6,7987	-1,8713	8,0486	3,5688	-5,0459	-9,0827	-5,1797	-1,9236	2,5792
	M-3	-3,1599	5,1565	-3,4663	-4,3923	1,0478	1,7370	-8,6893	-2,3200	-0,0867	-4,1346	-5,7994	-1,2999	-1,7447	-1,6319	-2,7495	-2,4739	2,1430	-3,6616	4,2515	2,2103	-4,4665	-10,5086	-5,8898	-2,1952	-0,3231
	M-4	-3,9300	4,7350	-2,4809	-1,5850	0,4716	3,9696	-0,3617	-2,9360	-0,5233	-4,1414	-2,6200	-1,7327	-2,6031	-1,9069	-3,4838	3,8956	2,7188	-3,9459	8,7305	3,2806	-4,5997	-8,9001	-6,0890	-3,0122	2,6409
	S-SCR-01	-2,1608	5,0186	-1,7441	-2,4105	-1,4163	2,7004	-3,2320	-1,3778	-0,0363	-0,8022	-4,0610	0,0219	-1,3337	0,7146	-0,7229	1,3114	-3,5850	-0,9163	6,3759	1,3702	-2,6565	-7,2734	-3,6756	-1,2412	1,2594
	S-SCR-02	-2,3426	5,2055	-2,4868	-2,4105	-1,8399	2,5110	-2,8241	-1,4443	-0,4727	-1,1316	-4,0352	-0,0106	-1,3919	0,5753	-0,8929	1,3695	-3,5850	-1,2279	4,8885	1,1160	-3,0453	-7,2779	-3,5054	-1,3793	0,9995
	S-SCA-01	-1,9448	6,6037	-1,0935	-1,9069	-1,4928	2,7866	-3,8072	-1,8160	-0,4189	-0,7922	-4,3905	-0,4590	-0,9272	-0,1371	-1,6576	1,5299	-3,5850	-2,2476	4,9652	0,7993	-2,4500	-7,4765	-5,0192	-1,4831	0,6669
	S-SCA-02	-2,1901	6,0385	-1,6215	-1,9863	-2,1161	2,8480	-3,5868	-1,7306	-0,6510	-1,3599	-4,3496	-0,5838	-1,3055	0,0510	-1,7163	1,4186	-3,5850	-2,0941	5,0506	1,1167	-2,9767	-7,5040	-5,6844	-1,7503	0,4493
	S-SCA-03	-2,3511	6,0976	-1,8839	-2,0995	-2,6141	2,4060	-4,3292	-1,4580	0,0153	-1,3786	-4,6311	-0,1772	-1,2193	0,0868	-1,6184	2,2319	-3,5850	-2,2139	5,8244	2,4120	-2,9068	-7,6511	-5,5027	-1,6204	1,3901
	S-SFR-01	-1,9804	2,5607	-0,7882	-2,1293	-1,3340	2,4940	-3,0985	-1,1145	-0,9920	-1,0408	-3,4548	0,3229	-1,1589	-0,4995	-1,6285	-0,1549	-3,5850	-0,8617	1,5619	0,1379	-2,5481	-7,1259	-4,0748	-1,3058	0,4369
	S-SFR-02	-1,9119	2,5166	-0,5660	-2,2548	-1,4659	2,6630	-3,2301	-1,2180	-0,1926	-1,1943	-3,4861	0,0307	-1,1771	-0,5479	-1,7409	-0,3063	-3,5850	-0,7376	1,4150	0,2214	-2,6420	-7,3299	-3,8123	-1,1833	0,5059
	S-SFR-03	-2,8439	6,1949	-2,1093	-3,0418	-1,1541	2,4940	-3,7916	-1,9553	-0,7204	-1,4207	-3,9876	-0,3248	-1,6076	-1,0135	-2,2703	-0,4807	-3,5850	-2,5203	2,7574	0,5557	-2,6327	-6,9333	-4,1938	-2,0321	0,3014
	S-SFR-04	-2,6904	4,5607	-1,9169	-2,9863	-1,0350	1,8745	-3,7439	-2,3123	-0,9334	-1,3270	-4,4486	-0,5809	-1,8206	-0,8819	-2,1744	-2,2144	-3,5850	-2,7053	2,5384	0,3561	-2,5206	-7,2718	-4,9291	-1,9317	0,4050
	MS-01	-3,2894	5,6082	-1,7686	-4,3923	0,7137	2,3219	-8,8141	-2,3413	-0,9401	-3,7563	-4,5151	-0,1333	-1,0873	-1,9069	-4,1432	-3,1201	0,7370	-4,4919	4,2515	4,1471	-3,4716	-9,0518	-5,0522	-2,0950	-1,1114
	MS-02	-3,3802	6,1625	-2,2774	-4,3923	-0,4475	1,7370	-9,5232	-3,2288	-2,0516	-4,1245	-6,2097	-1,6251	-2,5118	-1,9069	-4,9458	-3,3018	0,7370	-4,4919	4,2515	-0,9069	-3,5199	-9,4278	-5,4135	-3,1195	-2,1782
	MS-03	-3,5726	4,2253	-1,9508	-4,3923	-0,4215	1,7370	-8,8880	-2,8783	-2,3845	-4,4633	-4,8283	-0,7201	-2,1764	-1,9069	-5,1143	-2,6604	0,7370	-4,4919	4,2515	-0,6804	-4,9763	-9,3067	-4,6780	-3,0648	-1,7462
	MS-04	-2,4235	3,9033	-3,2675	-1,5850	0,6841	2,4150	-4,6844	-0,4163	-0,4788	-2,8925	-4,4078	0,0119	-1,1762	0,0286	-1,3793	0,3577	0,7370	-3,0064	4,2515	0,4716	-4,6210	-8,6021	-4,0816	-1,2507	-0,0966
	MS-05	-2,5714	2,7289	-1,8742	-2,3923	-0,2863	1,7370	-4,8225	-1,7434	-1,9069	-2,8854	-4,3969	-0,5686	-2,0310	-0,4874	-2,6082	-1,0218	0,7370	-2,7011	4,2515	-0,5284	-4,6176	-8,6439	-4,8933	-2,4063	-0,4437
	MS-06	-2,8486	3,5305	-2,8022	-1,4854	0,2141	2,1155	-3,7069	-0,6319	0,5430	-1,2131	-4,6961	-0,3427	-1,6149	0,7963	-1,5509	0,1752	0,7370	-1,0377	4,2515	0,1075	-4,1755	-9,1182	-3,9647	-2,0530	-0,1751
	MS-07	-2,2569	6,3438	-2,6972	-1,6919	0,4577	3,2730	-4,9492	-1,0039	0,4268	-1,1954	-4,1045	-0,1183	-1,3299	-0,0639	-1,7522	1,3438	0,7370	-1,2379	4,2515	4,1497	-4,2593	-9,4278	-5,8024	-1,8442	2,1069
	MS-08	-2,6224	4,7901	-2,3379	-2,3923	0,1287	3,0000	-5,3808	-1,1670	-0,8777	-2,5395	-4,7229	0,5107	-1,7354	-0,5353	-2,4107	1,1783	0,7370	-2,2228	4,2515	2,9441	-4,2664	-8,2022	-3,8240	-2,1041	1,1450
	MS-09	-2,5987	5,4799	-2,1186	-1,9329	0,3026	3,3692	-5,2613	-0,8573	-0,7754	-2,0710	-4,6311	-0,3196	-1,5259	-0,3646	-2,1091	1,7339	0,7370	-1,5137	4,3890	2,4909	-4,1329	-8,9988	-4,1043	-2,0007	1,5327
	MS-10	-2,7316	7,9904	-2,6453	-0,8074	0,1375	2,2224	-4,0359	-1,2746	-1,4451	-4,4633	-2,9518	-1,4666	-1,5526	-0,4806	-3,4806	-0,4161	0,7370	-4,4919							

**ANEXO 07**  
**Planos**



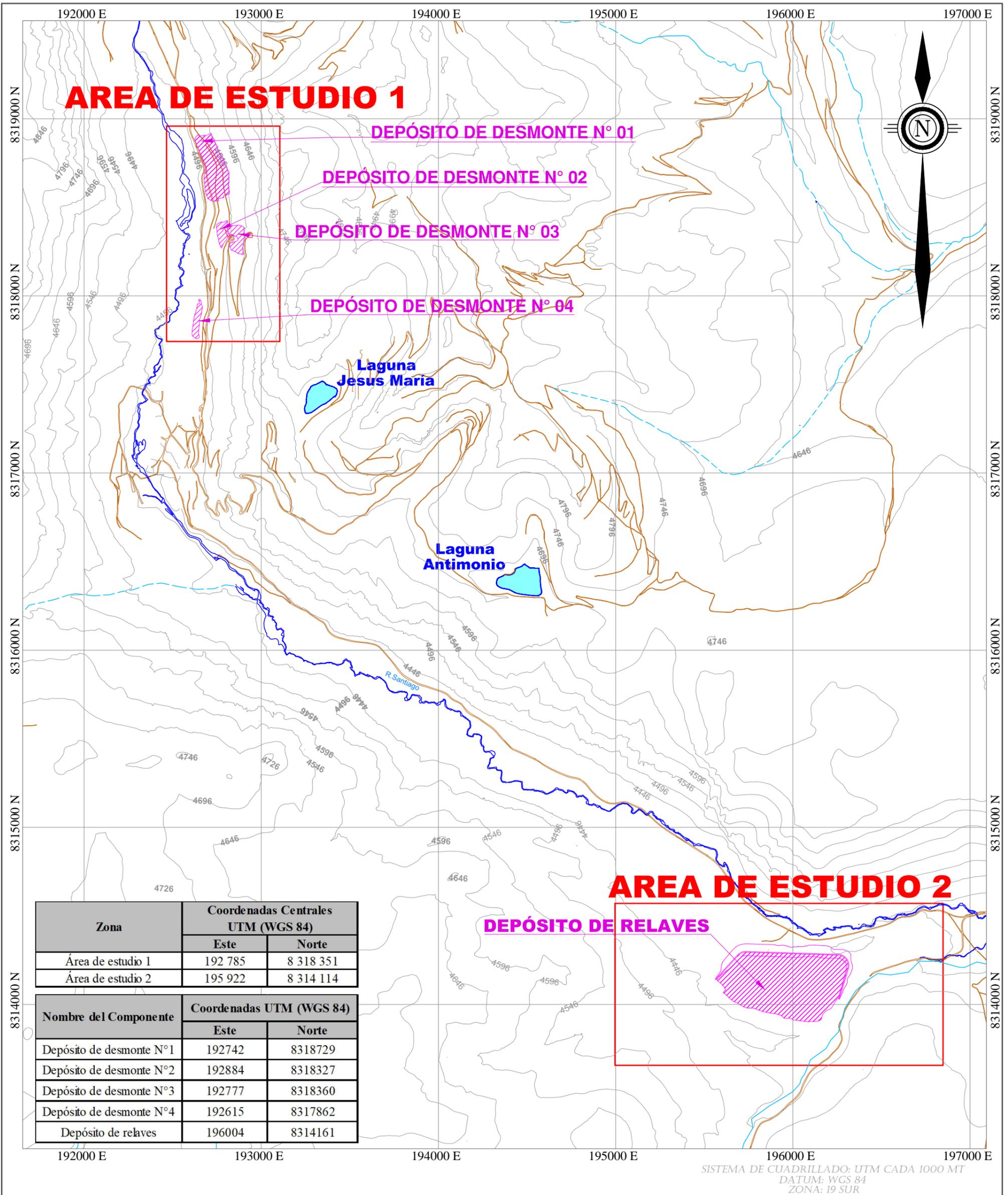
ESCALA 100.000  
 SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 4 Km.  
 DATUM: WGS84  
 ZONA 19 Sur

CARTA NACIONAL DE CAYLLOMA (HOJA 31-S)

**LEYENDA**

Area de Estudio "Cuenca del Río Santiago"	Quebrada Intermitente	Carretera Afirmada
Laguna	Transitable en Época Seca	Línea Telefónica
Río	Quebrada Permanente	

<b>TITULO:</b> UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD		
<b>UBICACIÓN:</b> AREQUIPA	<b>DATUM:</b> WGS 84 / 19s	<b>ESCALA:</b> 1/16 000
<b>ELABORADO:</b> G.F.P.	<b>FECHA:</b> 03/2017	<b>PLANO:</b> <b>01</b>



# AREA DE ESTUDIO 1

DEPÓSITO DE DESMONTE N° 01

DEPÓSITO DE DESMONTE N° 02

DEPÓSITO DE DESMONTE N° 03

DEPÓSITO DE DESMONTE N° 04

Laguna Jesus Maria

Laguna Antimonio

R. Santiago

# AREA DE ESTUDIO 2

DEPÓSITO DE RELAVES

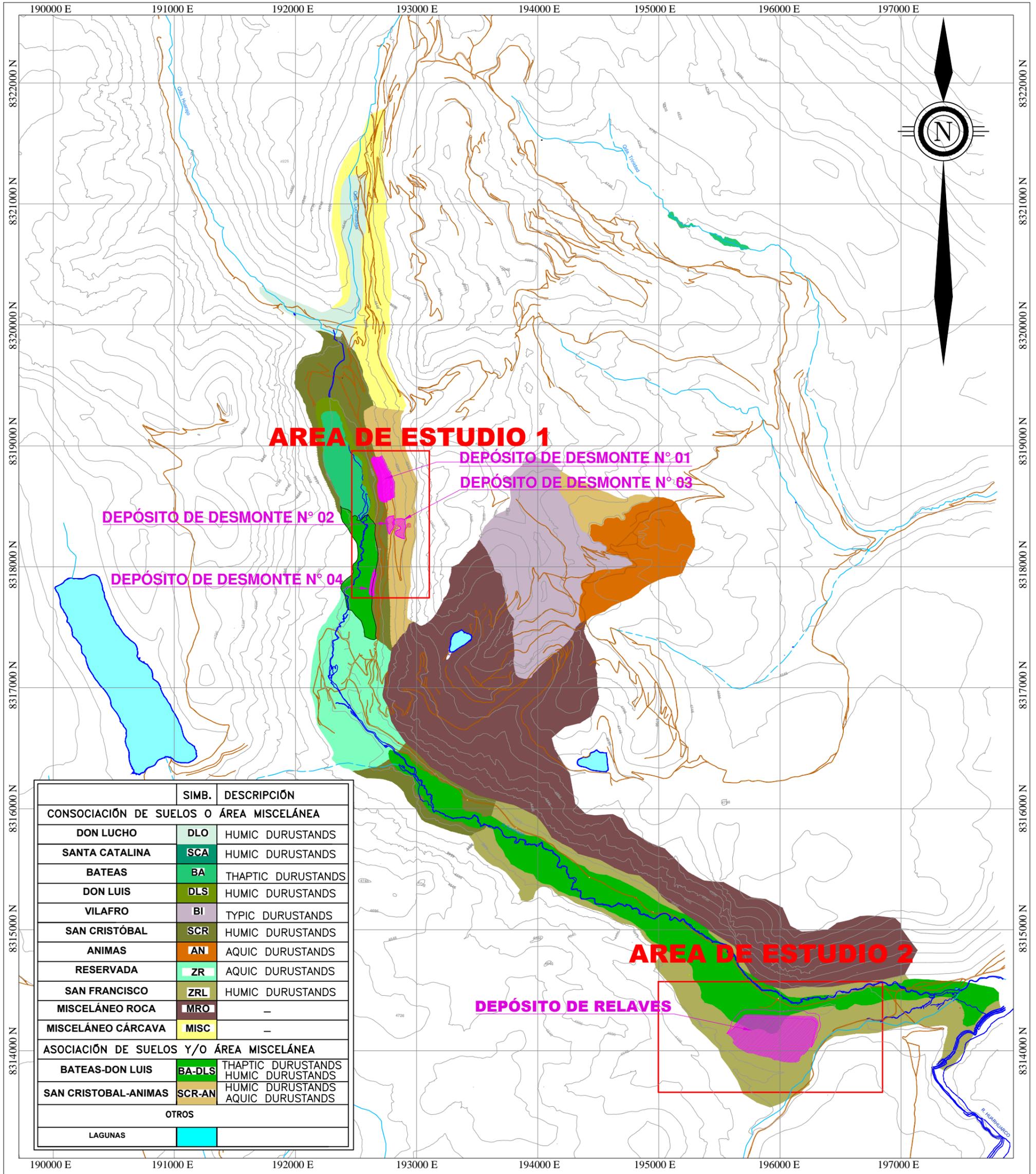
Zona	Coordenadas Centrales UTM (WGS 84)	
	Este	Norte
Área de estudio 1	192 785	8 318 351
Área de estudio 2	195 922	8 314 114

Nombre del Componente	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Este	Norte
Depósito de desmonte N°1	192742	8318729
Depósito de desmonte N°2	192884	8318327
Depósito de desmonte N°3	192777	8318360
Depósito de desmonte N°4	192615	8317862
Depósito de relaves	196004	8314161

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
DATUM: WGS 84  
ZONA: 19 SUR

LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 10 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

TITULO: UBICACIÓN DE AREA DE ESTUDIO Y COMPONENTES		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/20 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>02</b>

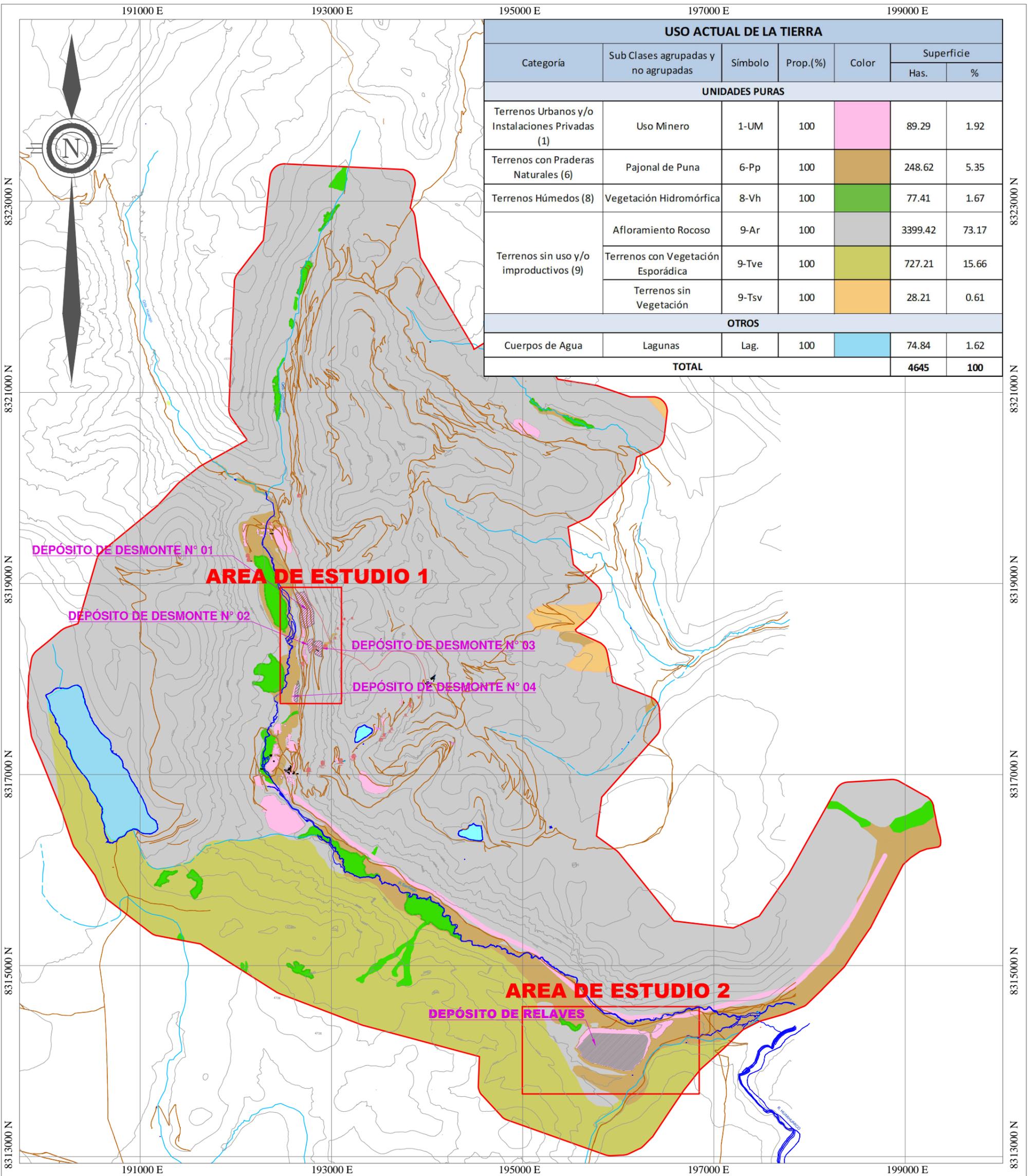


	SIMB.	DESCRIPCIÓN
<b>CONSOCIACIÓN DE SUELOS O ÁREA MISCELÁNEA</b>		
DON LUCHO	DLO	HUMIC DURUSTANDS
SANTA CATALINA	SCA	HUMIC DURUSTANDS
BATEAS	BA	THAPTIC DURUSTANDS
DON LUIS	DLS	HUMIC DURUSTANDS
VILAFRO	BI	TYPIC DURUSTANDS
SAN CRISTÓBAL	SCR	HUMIC DURUSTANDS
ANIMAS	AN	AQUIC DURUSTANDS
RESERVADA	ZR	AQUIC DURUSTANDS
SAN FRANCISCO	ZRL	HUMIC DURUSTANDS
MISCELÁNEO ROCA	MRO	-
MISCELÁNEO CÁRCAVA	MISC	-
<b>ASOCIACIÓN DE SUELOS Y/O ÁREA MISCELÁNEA</b>		
BATEAS-DON LUIS	BA-DLS	THAPTIC DURUSTANDS HUMIC DURUSTANDS
SAN CRISTOBAL-ANIMAS	SCR-AN	HUMIC DURUSTANDS AQUIC DURUSTANDS
<b>OTROS</b>		
LAGUNAS		

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19 SUR

LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

TITULO: <b>TIPOS DE SUELO</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/30 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>03</b>

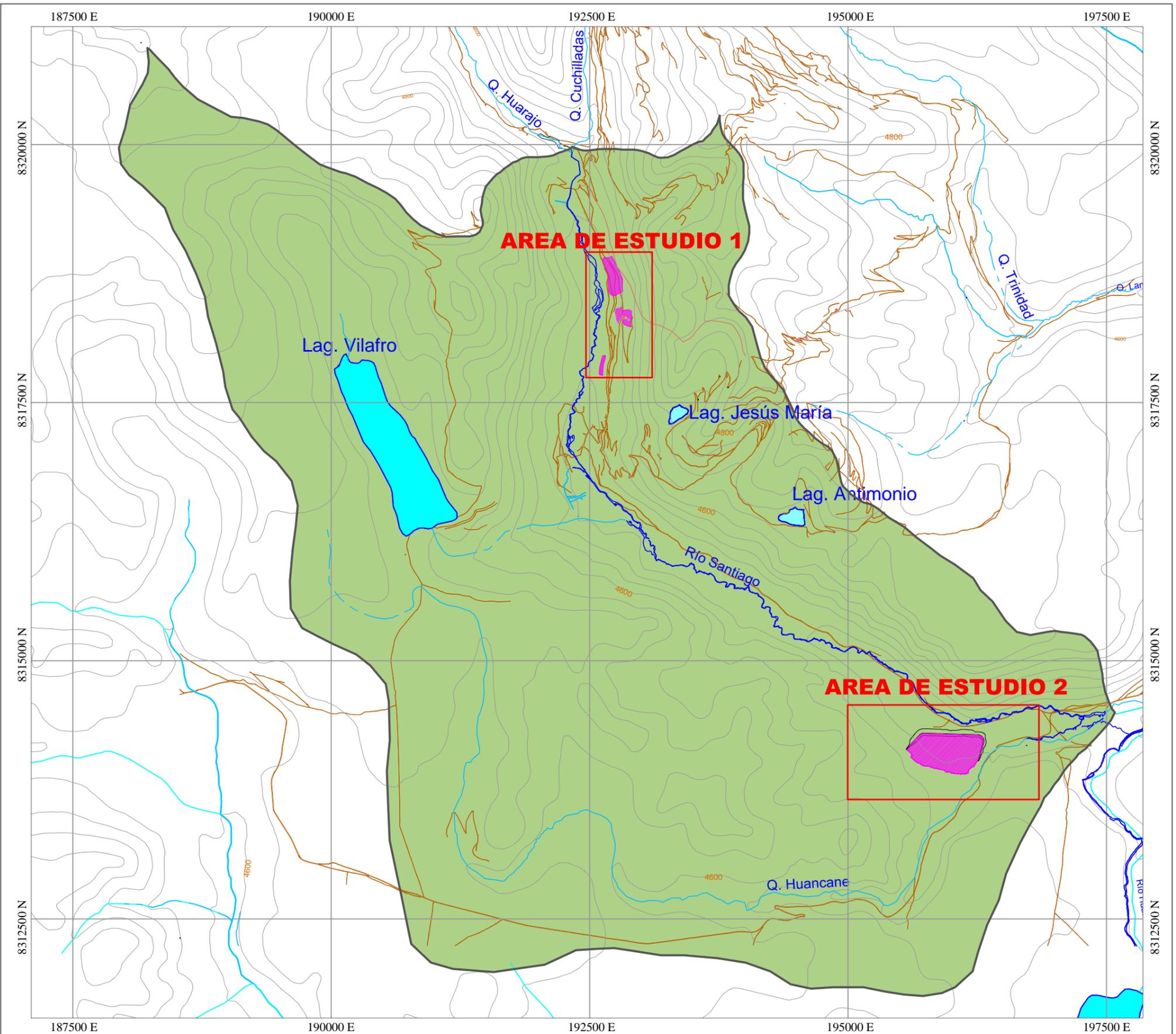


USO ACTUAL DE LA TIERRA						
Categoría	Sub Clases agrupadas y no agrupadas	Símbolo	Prop.(%)	Color	Superficie	
					Has.	%
<b>UNIDADES PURAS</b>						
Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Privadas (1)	Uso Minero	1-UM	100		89.29	1.92
Terrenos con Praderas Naturales (6)	Pajonal de Puna	6-Pp	100		248.62	5.35
Terrenos Húmedos (8)	Vegetación Hidromórfica	8-Vh	100		77.41	1.67
Terrenos sin uso y/o improductivos (9)	Afloramiento Rocoso	9-Ar	100		3399.42	73.17
	Terrenos con Vegetación Esporádica	9-Tve	100		727.21	15.66
	Terrenos sin Vegetación	9-Tsv	100		28.21	0.61
<b>OTROS</b>						
Cuerpos de Agua	Lagunas	Lag.	100		74.84	1.62
<b>TOTAL</b>					<b>4645</b>	<b>100</b>

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 2000 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19 SUR

LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

TITULO: <b>USO ACTUAL DE LA TIERRA</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/38 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>04</b>



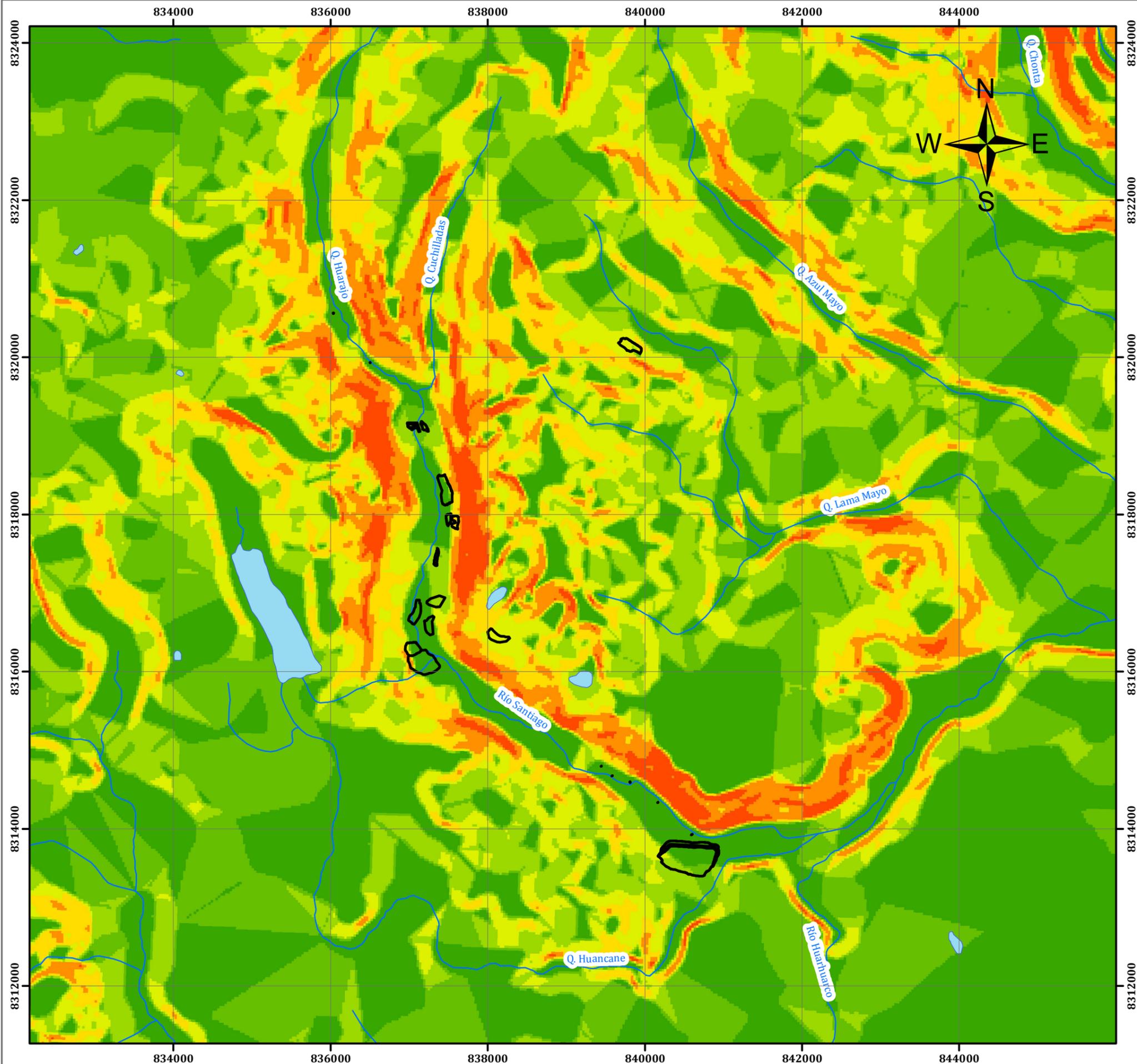
**PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
MICROCUCNCA SANTIAGO**

Parámetro	Valor
Área total de la microcuenca (Km2)	47.16
Perímetro de la microcuenca (Km)	33.03
Elevación máxima m.s.n.m.	4 525
Elevación mínima m.s.n.m.	4 355
Elevación media m.s.n.m.	4 440
Índice de Gravelius	1.35
Pendiente media	1.55%
Longitud de Cauce (Km)	9.65

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 2500 MT  
DATUM: WGS 84  
ZONA: 19 SUR

LEYENDA	
Curvas mayores ( cada 200 m)	Microcuenca del Río Santiago
Componentes	Accesos
Quebradas Intermitentes	Áreas de Estudio
Quebradas Permanentes	Rios
Lagunas	

TITULO: <b>HIDROLOGÍA</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/40 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>05</b>

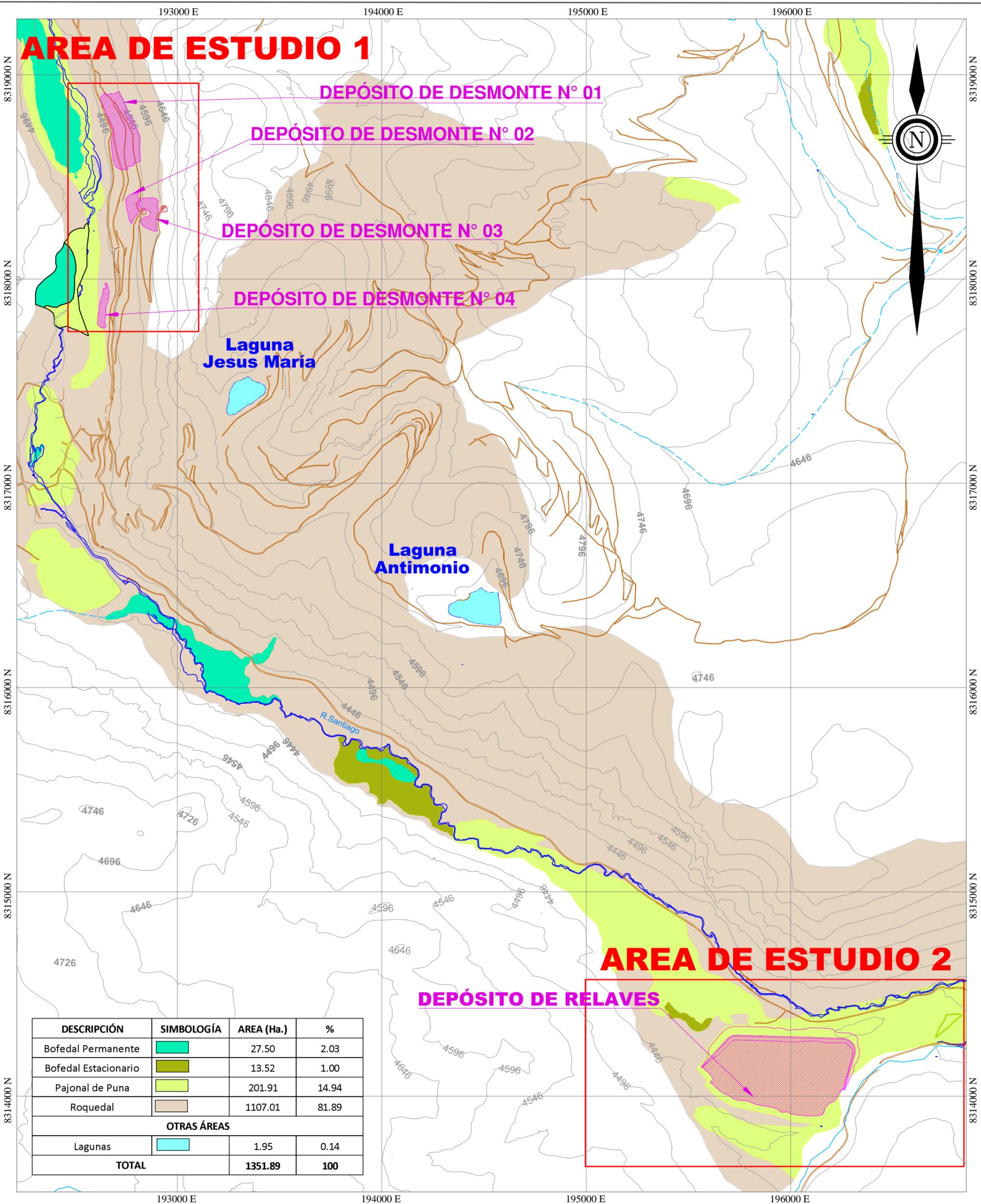


CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES			
Simbolo	Pendiente (%)	Color	Descripción
A	0-2		Plano casi a nivel
B	2-4		Ligeramente Inclinada
C	4-8		Moderadamente Inclinada
D	8-15		Fuertemente inclinada
E	15-25		Moderadamente Empinada
F	25-50		Empinada
G	50-75		Muy Empinada
H	>75		Extremadamente Empinada

LEYENDA	
	Componentes
	Ríos y Quebradas
	Lagos

Sistema de Cuadrillado: UTM cada 2 Km  
 Datum: WGS 84  
 Zona: 19s

TITULO: <b>PENDIENTES</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/50 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>06</b>

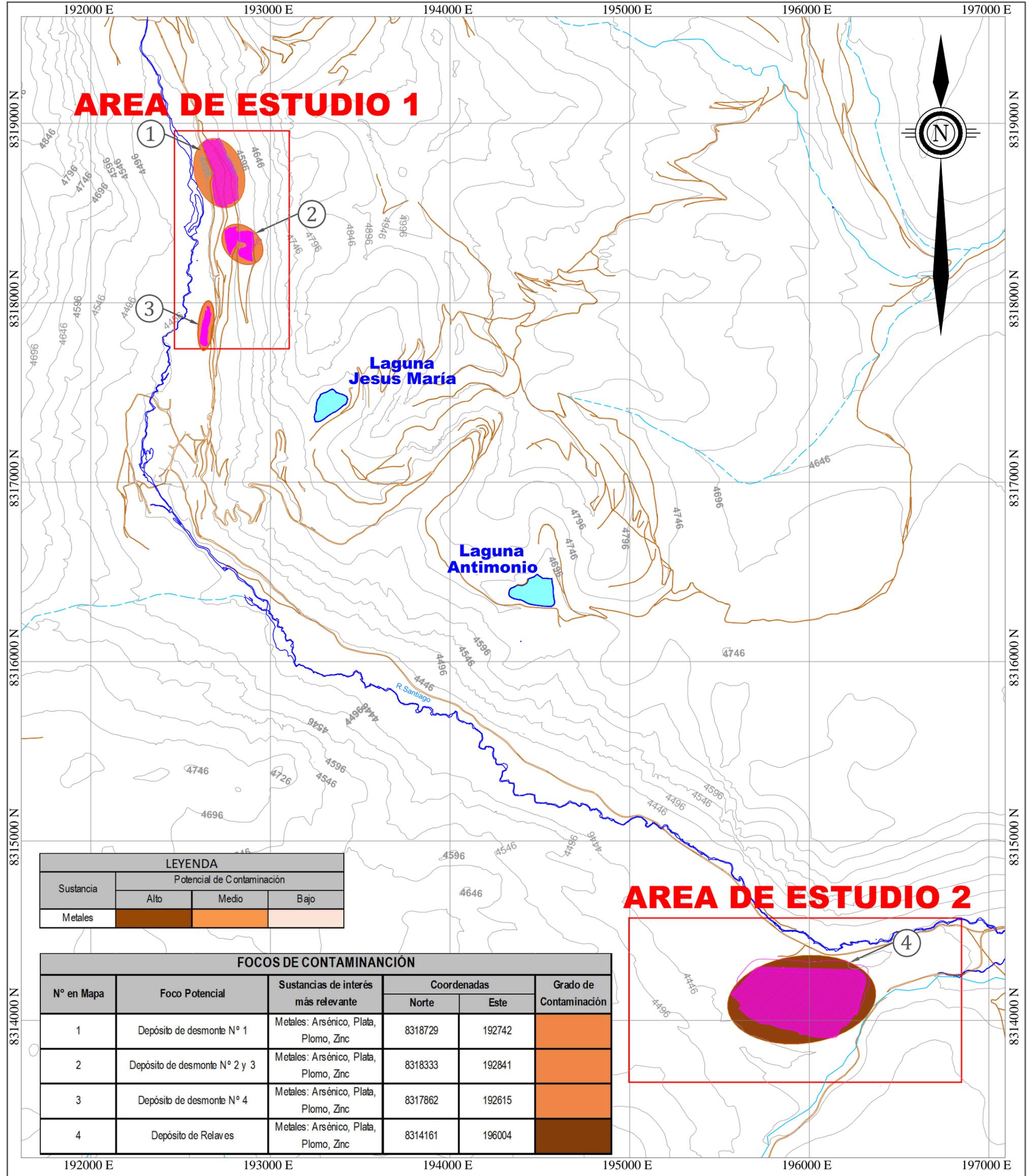


DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	AREA (Ha.)	%
Bofedal Permanente		27.50	2.03
Bofedal Estacionario		13.52	1.00
Pajonal de Puna		201.91	14.94
Roquedal		1107.01	81.89
OTRAS ÁREAS			
Lagunas		1.95	0.14
<b>TOTAL</b>		<b>1351.89</b>	<b>100</b>

LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19S

TÍTULO: <b>COBERTURA VEGETAL</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/17 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>07</b>



# AREA DE ESTUDIO 1

# AREA DE ESTUDIO 2

LEYENDA			
Sustancia	Potencial de Contaminación		
	Alto	Medio	Bajo
Metales			

FOCOS DE CONTAMINACIÓN					
N° en Mapa	Foco Potencial	Sustancias de interés más relevante	Coordenadas		Grado de Contaminación
			Norte	Este	
1	Depósito de desmonte N° 1	Metales: Arsénico, Plata, Plomo, Zinc	8318729	192742	
2	Depósito de desmonte N° 2 y 3	Metales: Arsénico, Plata, Plomo, Zinc	8318333	192841	
3	Depósito de desmonte N° 4	Metales: Arsénico, Plata, Plomo, Zinc	8317862	192615	
4	Depósito de Relaves	Metales: Arsénico, Plata, Plomo, Zinc	8314161	196004	

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19 SUR

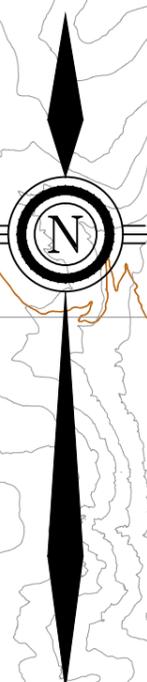
LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

TITULO: <b>FOCOS DE CONTAMINACIÓN</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/20 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>08</b>

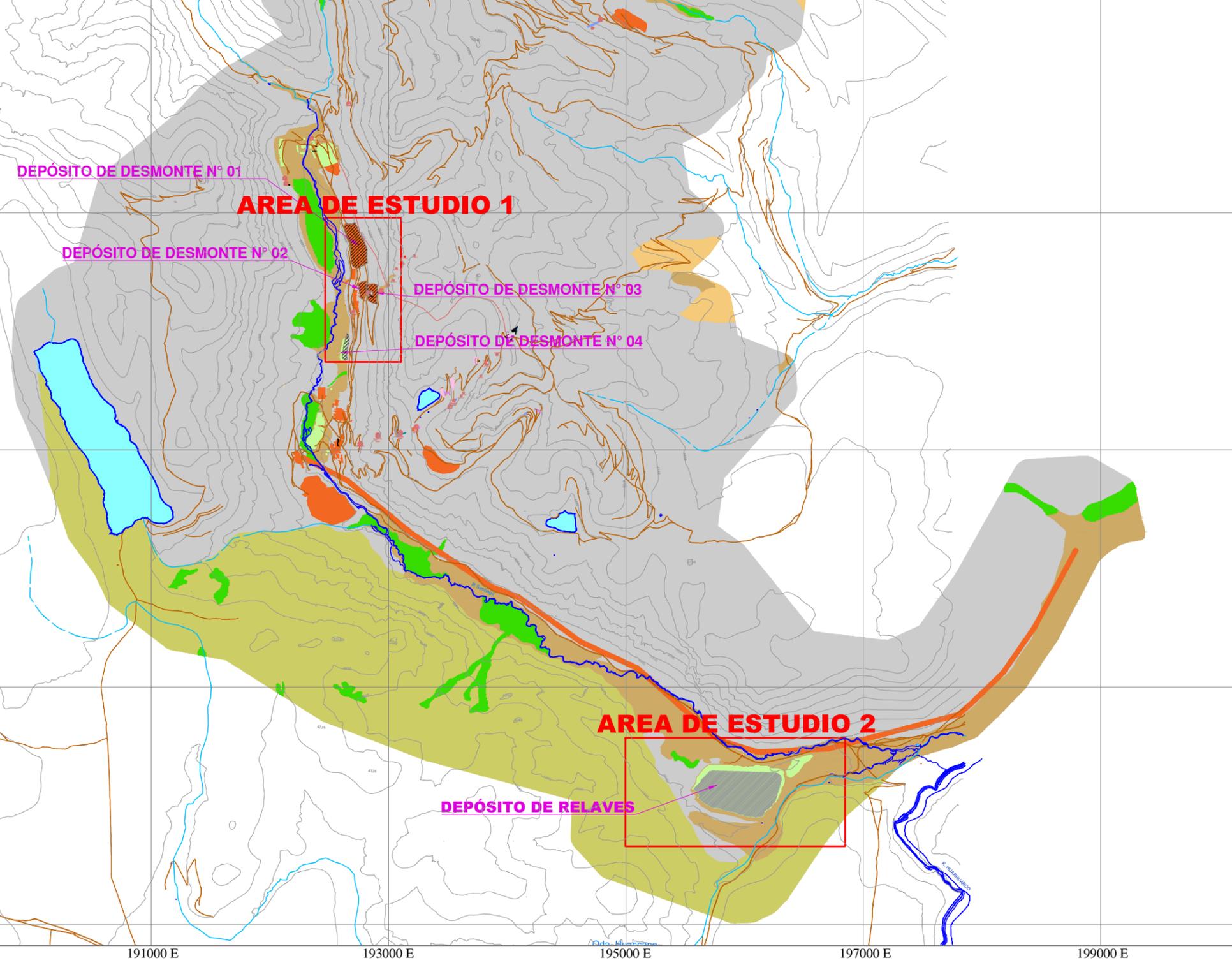
191000 E 193000 E 195000 E 197000 E 199000 E

8323000 N  
8321000 N  
8319000 N  
8317000 N  
8315000 N  
8313000 N

8323000 N  
8321000 N  
8319000 N  
8317000 N  
8315000 N  
8313000 N



USO FUTURO DE TIERRAS						
Categoría	Sub Clases agrupadas y no agrupadas	Símbolo	Prop.(%)	Color	Superficie	
					Has.	%
<b>UNIDADES PURAS</b>						
Terrenos con Praderas Naturales (6)	Pajonal de Puna	Pp	100		248.62	5.35
Terrenos Húmedos (8)	Vegetación Hidromórfica	Vh	100		77.41	1.67
Terrenos con Vegetación	Terrenos Recuperados con Vegetación	Trcv	101		33.67	0.72
Terrenos sin uso y/o improductivos (9)	Terrenos Recuperados sin Vegetación	Trsv				60.38
	Afloramiento Rocoso	Ar	100		3394.66	73.08
	Terrenos con Vegetación Esporádica	Tve	100		727.21	15.66
	Terrenos sin Vegetación	Tsv	100		28.21	0.61
<b>OTROS</b>						
Cuerpos de Agua	Lagunas	Lag.	100		74.84	1.61
<b>TOTAL</b>					<b>4645</b>	<b>100</b>



LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 2000 MT  
DATUM: WGS 84  
ZONA: 19 SUR

TITULO: <b>USO FUTURO DEL SUELO</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/38 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>09</b>

192500 E

193000 E

193500 E

8319000 N

8319000 N

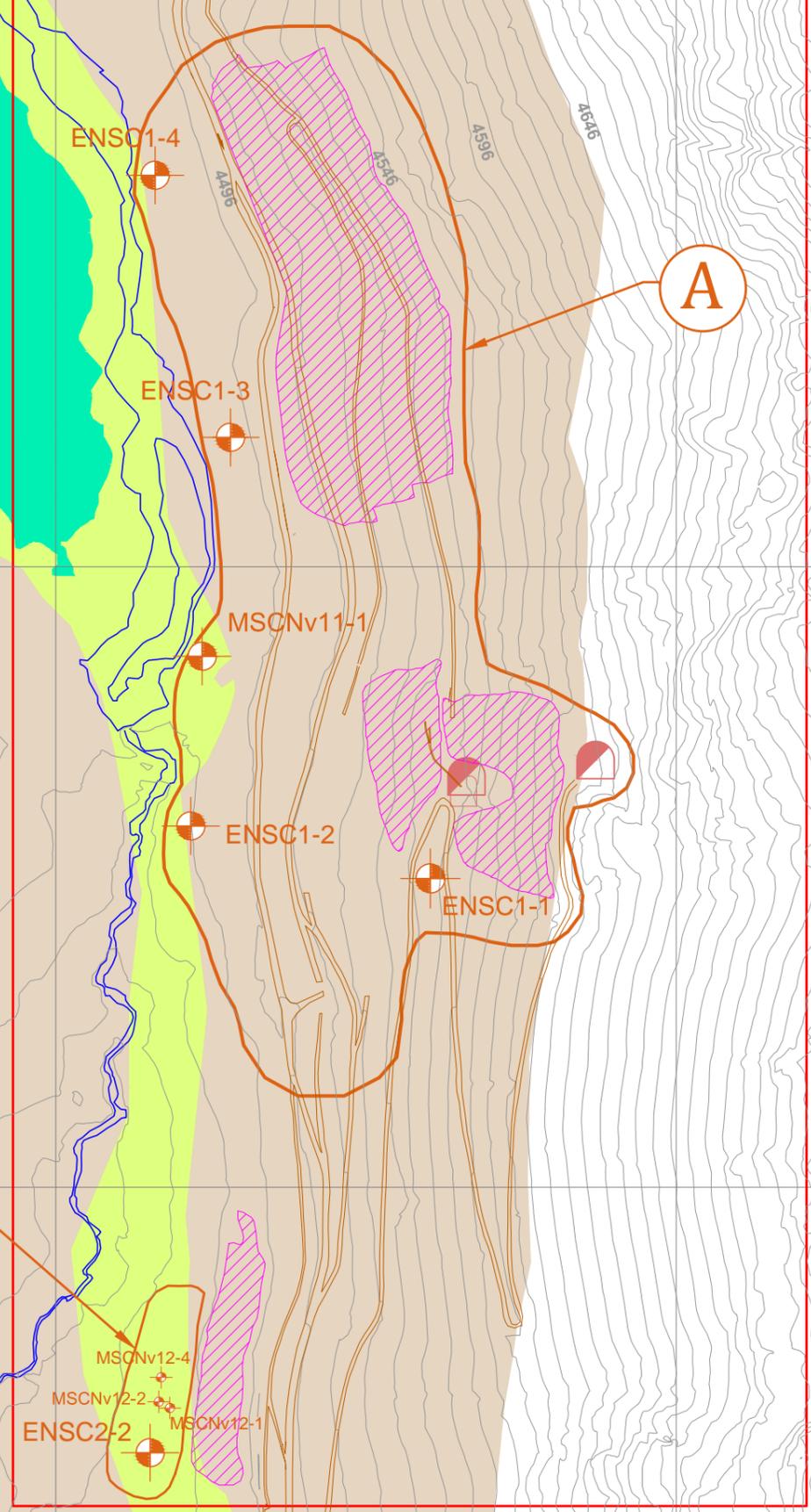
8318500 N

8318500 N

8318000 N

8318000 N

# AREA DE ESTUDIO 1



Código	API	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
		Norte	Este	
ENSC1-1	API A	8318249	192802	4504
ENSC1-2		8318291	192609	4506
ENSC1-3		8318604	192641	4492
ENSC1-4		8318817	192580	4575
MSCNv 11-1		8318428	192618	4505
ENSC2-2	API B	8317786	192576	4484
MSCNv 12-1		8317822	192592	4486
MSCNv 12-2		8317827	192583	4484
MSCNv 12-4		8317847	192585	4482

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
Bofedal Permanente	
Bofedal Estacionario	
Pajonal de Puna	
Roqedal	
OTRAS ÁREAS	
Lagunas	

192500 E

193000 E

193500 E

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 500 MT  
DATUM: WGS 84  
ZONA: 19 SUR

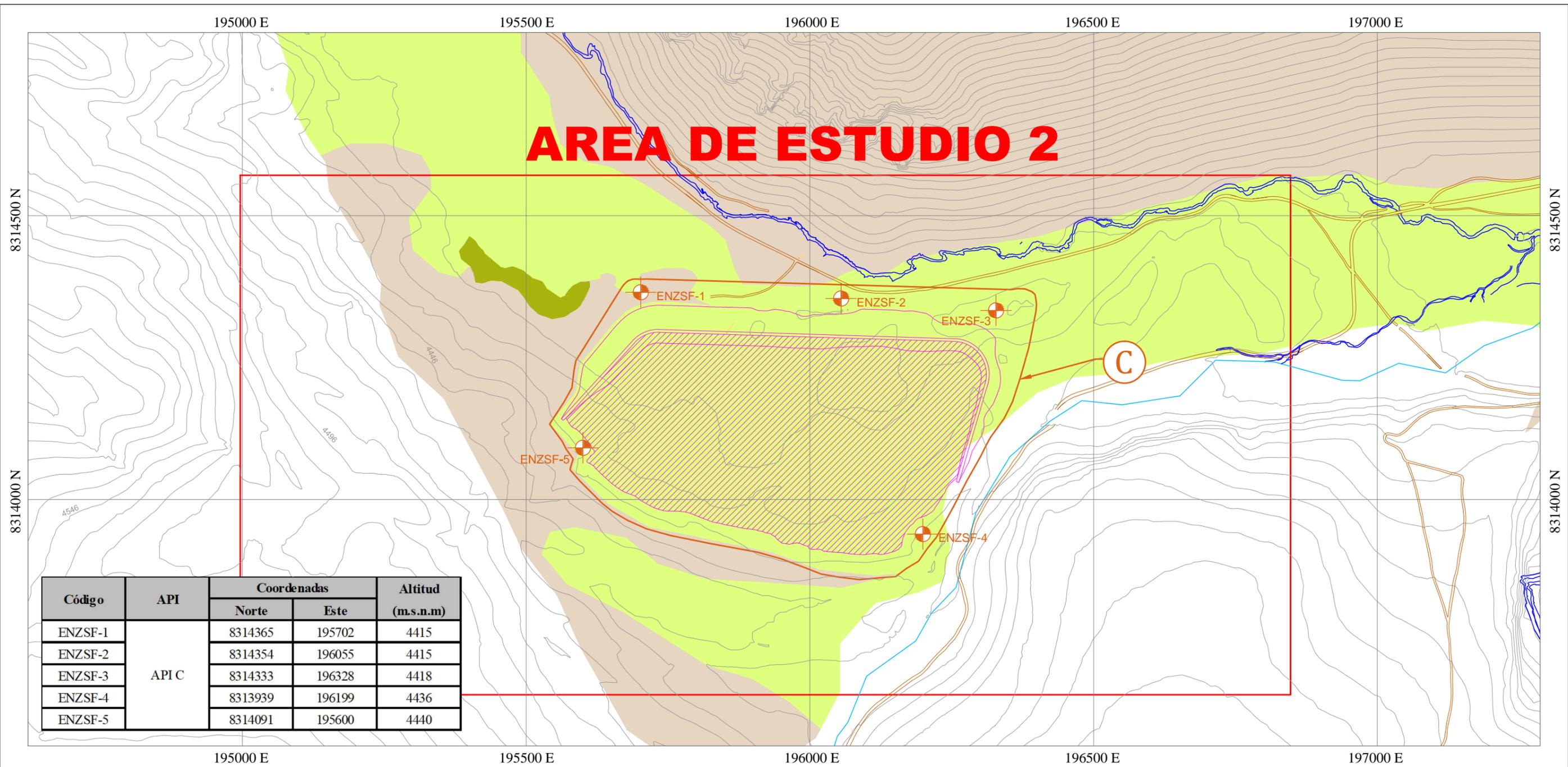
### LEYENDA

- COMPONENTES EXISTENTES
- CURVAS DE NIVEL ( CADA 10 M.)
- RÍO
- QUEBRADAS PERMANENTES
- QUEBRADAS INTERMITENTES
- ACCESOS
- LAGUNA

TITULO:  
**AREAS Y PUNTOS DE IDENTIFICACION**

UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/5 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>10-A</b>

# AREA DE ESTUDIO 2



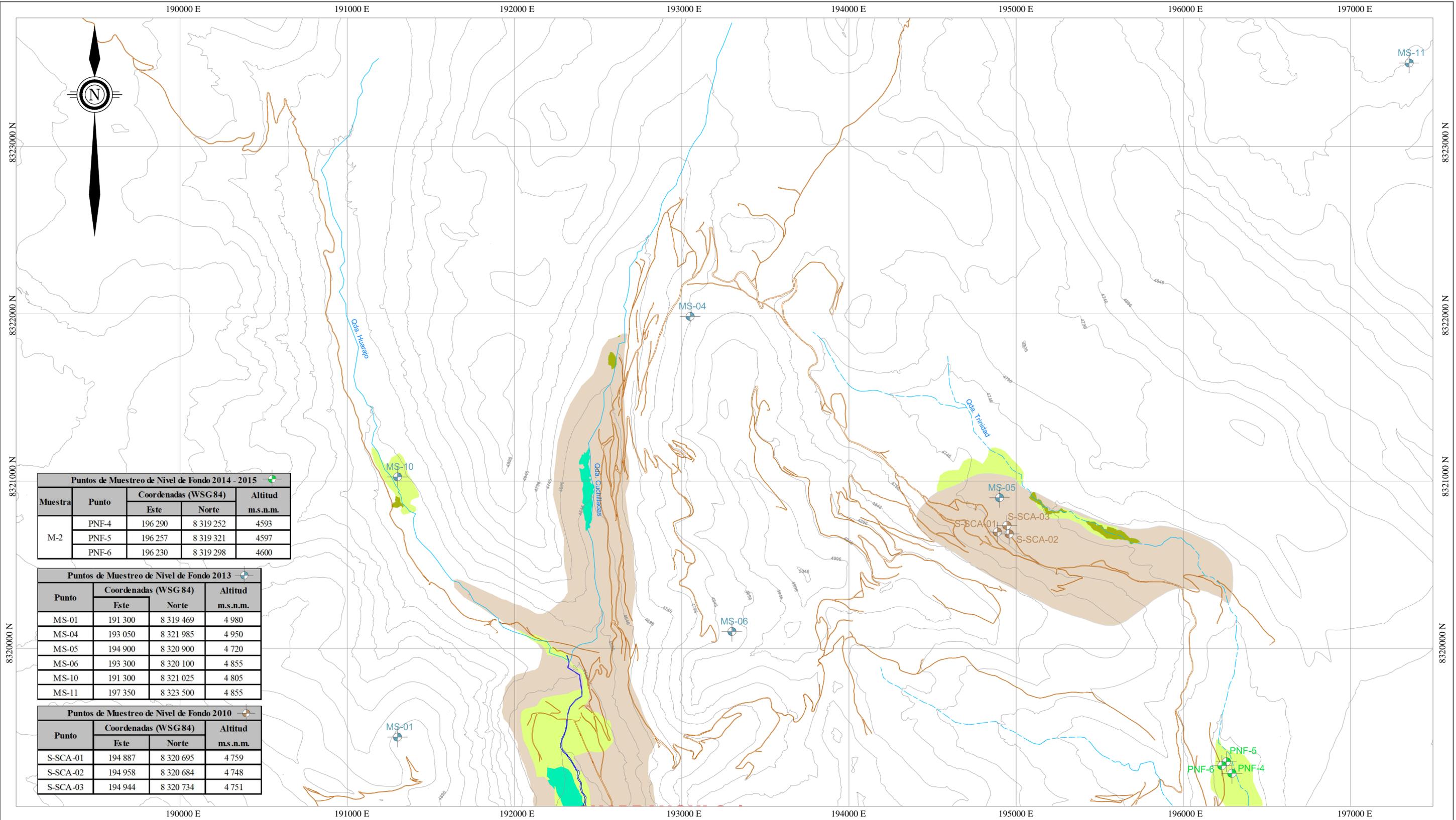
Código	API	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
		Norte	Este	
ENZSF-1	API C	8314365	195702	4415
ENZSF-2		8314354	196055	4415
ENZSF-3		8314333	196328	4418
ENZSF-4		8313939	196199	4436
ENZSF-5		8314091	195600	4440

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 500 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19 SUR

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
Bofedal Permanente	
Bofedal Estacionario	
Pajonal de Puna	
Roqedal	
OTRAS ÁREAS	
Lagunas	

LEYENDA	
COMPONENTES EXISTENTES	
CURVAS DE NIVEL ( CADA 10 M.)	
RÍO	
QUEBRADAS PERMANENTES	
QUEBRADAS INTERMITENTES	
ACCESOS	
LAGUNA	

TITULO: <b>AREAS Y PUNTOS DE IDENTIFICACION</b>		
UBICACIÓN: AREQUIPA	DATUM: WGS 84 / 19s	ESCALA: 1/7 000
ELABORADO: G.F.P.	FECHA: 03/2017	PLANO: <b>10-B</b>



**Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2014 - 2015**

Muestra	Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
		Este	Norte	
M-2	PNF-4	196 290	8 319 252	4593
	PNF-5	196 257	8 319 321	4597
	PNF-6	196 230	8 319 298	4600

**Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2013**

Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
MS-01	191 300	8 319 469	4 980
MS-04	193 050	8 321 985	4 950
MS-05	194 900	8 320 900	4 720
MS-06	193 300	8 320 100	4 855
MS-10	191 300	8 321 025	4 805
MS-11	197 350	8 323 500	4 855

**Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2010**

Punto	Coordenadas (WSG 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
S-SCA-01	194 887	8 320 695	4 759
S-SCA-02	194 958	8 320 684	4 748
S-SCA-03	194 944	8 320 734	4 751

**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL ( CADA 50 M.)
- RÍO
- QUEBRADAS PERMANENTES
- QUEBRADAS INTERMITENTES
- ACCESOS
- LAGUNA

SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
 DATUM: WGS 84  
 ZONA: 19 SUR

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
Bofedal Permanente	
Bofedal Estacionario	
Pajonal de Puna	
Roquedal	
OTRAS ÁREAS	
Lagunas	

<b>TÍTULO:</b> PUNTOS DE NIVEL DE FONDO		
<b>UBICACIÓN:</b> AREQUIPA	<b>DATUM:</b> WGS 84 / 19s	<b>ESCALA:</b> 1/15 000
<b>ELABORADO:</b> G.F.P.	<b>FECHA:</b> 07/2017	<b>PLANO:</b> <b>11-A</b>

190000 E

191000 E

192000 E

193000 E

194000 E

195000 E

196000 E

197000 E



8318000 N

8317000 N

8316000 N

8315000 N

Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2014 - 2015				
Muestra	Punto	Coordenadas (WGS 84)		Altitud m.s.n.m.
		Este	Norte	
M-3	PNF-7	195 401	8 318 474	4718
	PNF-8	195 488	8 318 449	4708
	PNF-9	195 599	8 318 443	4704
M-4	PNF-10	194 383	8 315 334	4428
	PNF-11	194 416	8 315 303	4428
	PNF-12	194 484	8 315 301	4426

Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2013			
Punto	Coordenadas (WGS 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
MS-02	191 500	8 318 100	4 970
MS-03	191 550	8 317 000	4 810
MS-07	195 600	8 318 800	4 690
MS-08	195 000	8 317 700	4 820
MS-09	193 580	8 317 000	4 720

Puntos de Muestreo de Nivel de Fondo 2010			
Punto	Coordenadas (WGS 84)		Altitud m.s.n.m.
	Este	Norte	
S-SCR-01	192 706	8 318 626	4 520
S-SCR-02	192 741	8 318 688	4 541
S-SFR-01	195 816	8 314 301	4 422
S-SFR-02	195 816	8 314 243	4 425
S-SFR-03	195 751	8 314 340	4 426
S-SFR-04	195 820	8 314 366	4 426

190000 E

191000 E

192000 E

193000 E

194000 E

195000 E

196000 E

197000 E

LEYENDA

COMPONENTES EXISTENTES

CURVAS DE NIVEL (CADA 50 M.)

RÍO

QUEBRADAS PERMANENTES

QUEBRADAS INTERMITENTES

ACCESOS

LAGUNA



SISTEMA DE CUADRILLADO: UTM CADA 1000 MT  
DATUM: WGS 84  
ZONA: 19 SUR

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA
Bofedal Permanente	
Bofedal Estacionario	
Pajonal de Puna	
Roquedal	
OTRAS ÁREAS	
Lagunas	

TÍTULO:

PUNTOS DE NIVEL DE FONDO

UBICACIÓN:

AREQUIPA

DATUM:

WGS 84 / 19s

ESCALA:

1/15 000

ELABORADO:

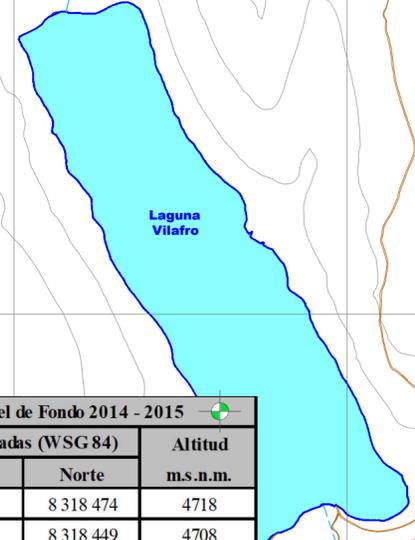
G.F.P.

FECHA:

07/2017

PLANO:

11-B



Laguna Jesus Maria

Laguna Antimonio

AREA DE ESTUDIO 2

PNF-7 PNF-8 PNF-9

PNF-10 PNF-11 PNF-12

S-SFR-03 S-SFR-04 S-SFR-01 S-SFR-02

S-SCR-02 S-SCR-01

MS-02

MS-03

MS-09

MS-08

MS-07