



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

“NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO  
DE PASCO”

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

HEINER SALDAÑA MELGAREJO

**ASESOR:**

MG. CÉSAR AUGUSTO MUÑOZ ORTEGA

**JURADO:**

DR. CESAR JORGE ARGUEDAS MADRID

MG. ROGELIA GUILLEN LEON

MG. JULIO CESAR MINGA

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## **PENSAMIENTOS**

*“Somos lo que pensamos. Todo lo que somos surge de nuestros pensamientos. Con nuestros pensamientos hacemos el mundo”*

*Siddharta Gautama (Buda)*

## DEDICATORIA

*La presente tesis se la dedico a mi padre Oliva Saldaña Domínguez, que está en el cielo en la gloria de Dios y a mi madre Eleulteria Melgarejo Velásquez, quienes han dado la razón a mi vida, por sus consejos, amor, esfuerzo y confianza; así como su apoyo incondicional en todo momento, porque todo lo que soy es gracias a ellos.*

*A mis hermanas Nereida, Deidamen, Leiden, y Sandy, por su paciencia y su apoyo brindado en los momentos más difíciles sin importar nuestras diferencias; así como a mis sobrinos Esteban, Estefani, Jhared, Ian Alonso e Ian Mirko, por su cariño y apoyo incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer a Dios por su infinita misericordia, fortaleza y bendición a lo largo de mi vida y mi desarrollo profesional.*

*A mis padres Oliva y Eleulteria, por haberme forjado como la persona que soy y brindarme su apoyo incondicional, ya que su mayor deseo era tener un hijo profesional y muchos de mis logros es gracias a ellos. A mis hermanas y sobrinos, por su apoyo y motivación en todo momento, a quienes estoy inmensamente agradecido.*

*Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis Mg Sc. Ing. Cesar Augusto Muñoz Ortega por su dedicación, tiempo, enseñanzas y orientación (técnica y metodológica) que me permitieron elaborar la presente tesis.*

*A mis amigos Pierre Mandros, Joseth Alvarado, Edvin Rivera por su tiempo y apoyo para realizar los trabajos de campo, motivación y compañerismo; a Rubí Socualaya por su apoyo en el análisis de las muestras de suelo en laboratorio; a Jessica Becerra y Laura Egoavil por su apoyo en el ámbito físico del área de estudio; y el Ing. Elber Pucuhuayla por sus conocimientos y recomendaciones en el ámbito geológico del área de estudio de la presente investigación.*

*A la Universidad Nacional Federico Villarreal, por ser mi segundo hogar y el ente fundamental en mi formación y desarrollo profesional.*

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN -----	16
1.1.	Descripción y formulación del problema -----	18
1.1.1.	Descripción del problema -----	18
1.1.2.	Formulación del problema -----	20
1.2.	Antecedentes -----	21
1.2.1.	Antecedentes Nacionales -----	21
1.2.2.	Antecedentes Internacionales -----	24
1.3.	Objetivos-----	30
1.3.1.	Objetivo general-----	30
1.3.2.	Objetivos específicos -----	30
1.4.	Justificación -----	30
1.5.	Hipótesis -----	31
1.5.1.	Hipótesis general -----	31
1.5.2.	Hipótesis específicas -----	32
1.6.	Importancia-----	32
II.	MARCO TEÓRICO -----	34
2.1.	El suelo -----	34
2.1.1.	Factores formadores del suelo -----	35
2.1.2.	Horizontes genéticos -----	37
2.1.3.	Calidad del suelo -----	39
2.1.4.	Indicadores de la calidad del suelo -----	40
2.1.5.	Variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del suelo ---	44
2.2.	Metales pesados-----	45
2.2.1.	Fuentes naturales -----	47
2.2.2.	Fuentes antropogénicas -----	49
2.2.3.	Contaminación del suelo por metales pesados -----	50
2.2.4.	Dinámica y biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo -----	52
2.2.5.	Toxicidad de los metales pesados -----	58
2.3.	Niveles de Fondo -----	59
2.3.1.	Metodologías para establecer Niveles de Fondo-----	59

2.4.	Niveles de Referencia -----	62
2.4.1.	Metodologías para establecer Niveles de Referencia -----	63
2.5.	Marco Legal-----	69
III.	MÉTODO -----	74
3.1.	Tipo de investigación-----	74
3.1.1.	Tipo de investigación -----	74
3.1.2.	Diseño de investigación -----	74
3.1.3.	Nivel de investigación -----	74
3.2.	Ámbito temporal y espacial -----	74
3.3.	Ubicación-----	75
3.4.	Características generales del área de estudio -----	75
3.4.1.	Geología-----	75
3.4.2.	Geomorfología-----	80
3.4.3.	Hidrografía -----	82
3.4.4.	Cobertura vegetal-----	83
3.4.5.	Clima -----	84
3.4.6.	Suelos-----	84
3.4.7.	Capacidad de Uso Mayor de suelos -----	85
3.5.	Variables-----	86
3.6.	Población y muestra-----	87
3.7.	Instrumentos-----	88
3.8.	Procedimientos-----	90
3.8.1.	Etapa Inicial o Pre-campo -----	90
3.8.2.	Etapa de Campo -----	93
3.8.3.	Etapa de Gabinete -----	97
3.9.	Análisis de datos -----	98
3.9.1.	Estadística descriptiva -----	98
3.9.2.	Identificación de valores discordantes -----	99
3.9.3.	Distribución de la población de los datos-----	100
3.9.4.	Pruebas de significación-----	100
3.9.5.	Matriz de correlación -----	101
3.9.6.	Rectas de regresión lineal -----	103

3.9.7.	Análisis estadístico multivariante -----	104
IV.	RESULTADOS-----	106
4.1.	Determinación de niveles de fondo para metales pesados en el suelo ----	106
4.1.1.	Concentraciones de los metales pesados en el suelo -----	106
4.1.2.	Determinación de valores discordantes -----	109
4.1.3.	Pruebas de normalidad - Test de Shapiro-Wilkinson-----	112
4.1.4.	Relaciones estadísticas entre los contenidos totales de metales pesados 115	
4.1.5.	Cálculo del UCL95-----	121
4.1.6.	Propuesta de niveles de fondo -----	123
4.2.	Relación entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones totales de los metales pesados del suelo -----	126
4.2.1.	Parámetros fisicoquímicos del suelo -----	126
4.2.2.	Determinación de valores discordantes -----	130
4.2.3.	Pruebas de normalidad – Test de Shapiro Wilkinson -----	133
4.2.4.	Correlaciones estadísticas entre las propiedades fisicoquímicas del suelo 138	
4.2.5.	Correlaciones estadísticas entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones totales de metales pesados en el suelo -----	146
4.3.	Propiedades fisicoquímicas del suelo que intervienen sobre los niveles de referencia para los metales pesados-----	153
4.3.1.	Rectas de regresión lineal -----	153
4.3.2.	Niveles de referencia -----	155
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS-----	161
5.1.	Determinación de los niveles de fondo-----	161
5.2.	Relación entre los contenidos totales de metales pesados y las propiedades fisicoquímicas del suelo-----	165
5.3.	Determinación de los niveles de referencia-----	168
VI.	CONCLUSIONES -----	172
VII.	RECOMENDACIONES -----	176
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	178
IX.	ANEXOS-----	192



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo .....	42
Tabla 2-2 Micronutrientes y macronutrientes esenciales en los organismos vivos ....	47
Tabla 2-3 Concentración ( $\mu\text{g/g}$ ) de metales pesados de acuerdo al tipo de roca .....	48
Tabla 2-4 Metales pesados asociados a minerales primarios en el suelo.....	49
Tabla 2-5 Metales pesados asociados a minerales secundarios en el suelo .....	49
Tabla 2-6 Fuentes antrópicas de metales pesados en el suelo .....	50
Tabla 2-7 Disponibilidad relativa de metales pesados en el suelo para las plantas....	54
Tabla 2-8 Movilidad de los metales pesados en función al Eh y pH del suelo .....	55
Tabla 2-9 Elementos tóxicos de interés .....	58
Tabla 2-10 Parámetros estadísticos descriptivos según su distribución .....	60
Tabla 2-11 Niveles de referencia para metales pesados en el suelo en otros países ..	68
Tabla 3-1 Unidades litoestatigráficas del área de estudio .....	76
Tabla 3-2 Variable dependiente de la investigación.....	86
Tabla 3-3 Variables independientes de la investigación.....	87
Tabla 3-4 Escala de interpretación del coeficiente de correlación .....	102
Tabla 4-1 Concentraciones totales de metales pesados en el suelo .....	106
Tabla 4-2 Test de Shapiro-Wilkinson para metales pesados.....	112
Tabla 4-3 Test de Shapiro-Wilkinson para valores transformados (log-normal).....	113
Tabla 4-4 Correlaciones entre las concentraciones totales de metales pesados .....	115
Tabla 4-5 Análisis factorial para los contenidos totales de metales pesados .....	117
Tabla 4-6 Calculo del UCL95 para metales pesados .....	122
Tabla 4-7 Estadísticos descriptivos de las concentraciones totales de metales pesados .....	123

Tabla 4-8 Niveles de Fondo propuestos para metales pesados .....	125
Tabla 4-9 Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas del suelo ....	128
Tabla 4-10 Test de Shapiro-Wilkinson para las propiedades fisicoquímicas del suelo .....	133
Tabla 4-11 Test de Shapiro-Wilkinson para valores transformados (log-normal)...	134
Tabla 4-12 Correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	139
Tabla 4-13 Análisis factorial para las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	141
Tabla 4-14 Correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados .....	147
Tabla 4-15 Análisis factorial entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados .....	150
Tabla 4-16 Rectas de regresión lineal múltiple .....	155
Tabla 4-17 Rectas de regresión lineal simple para cada metal pesado .....	156
Tabla 4-18 Niveles de Referencia propuestos para metales pesados.....	159
Tabla 5-1 Niveles de referencia para metales pesados propuestos por otros autores y/o legislaciones internacionales .....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Procesos interactivos entre el sistema - suelo .....	35
Figura 2-2 Proceso de formación del suelo a partir de una roca caliza .....	38
Figura 2-3 Horizontes genéticos del suelo .....	39
Figura 2-4 Ubicación de los metales y metaloides en la tabla periódica .....	46
Figura 2-5 Representación de una población con distribución Normal.....	64

Figura 2-6 Gráficas probabilísticas para determinar valores de referencia.....	65
Figura 2-7 Histograma de distribución de los valores $X+2DE$ .....	67
Figura 3-1 Método del cuarteo para la toma de muestras compuestas de suelo.....	91
Figura 3-2 Muestreo de suelos a través de rejillas triangulares.....	92
Figura 3-3 Áreas misceláneas predominantes en el área de estudio.....	92
Figura 3-4 Identificación en campo de los puntos de muestreo de suelo .....	94
Figura 3-5 Desbroce de la cobertura vegetal.....	94
Figura 3-6 Descripción del punto de muestreo.....	95
Figura 3-7 Proceso de cuarteo y toma de la muestra de suelo .....	96
Figura 3-8 Embalado y rotulado de la muestra de suelo.....	96
Figura 3-9 Lavado de herramientas y materiales del muestreo.....	97
Figura 3-10 Valores discordantes a través del diagrama de cajas y bigotes .....	100
Figura 3-11 Valores de $r$ y sus implicaciones .....	103
Figura 3-12 Representación gráfica del análisis de componentes principales .....	104
Figura 3-13 Dendrograma y sus etapas en la formación de conglomerados.....	105
Figura 4-1 Diagramas de cajas y bigotes para los contenidos de metales pesados ..	110
Figura 4-2 Histogramas de los contenidos totales de metales pesados.....	114
Figura 4-3 Gráfico de sedimentación para la selección de componentes principales .....	118
Figura 4-4 Gráfico de componentes principales en espacio rotado.....	118
Figura 4-5 Dendrograma obtenido del análisis clúster para metales pesados .....	119
Figura 4-6 Dendrograma obtenido del análisis clúster por puntos de muestreo .....	121
Figura 4-7 Diagramas de cajas y bigotes para las propiedades fisicoquímicas del suelo .....	130

Figura 4-8 Histogramas de las propiedades fisicoquímicas del suelo .....	136
Figura 4-9 Gráfico de sedimentación para la selección de los componentes principales .....	142
Figura 4-10 Gráfico de componentes principales en espacio rotado .....	143
Figura 4-11 Dendrograma obtenido del análisis clúster para las propiedades fisicoquímicas del suelo .....	144
Figura 4-12 Dendrograma obtenido del análisis clúster por puntos de muestreo ....	145
Figura 4-13 Gráfico de sedimentación para la selección de los componentes principales .....	151
Figura 4-14 Gráfico de componentes principales en espacio rotado .....	152
Figura 4-15 Dendrograma obtenido del análisis clúster entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados .....	153
Figura 5-1 Niveles de Referencia y Estándares de Calidad Ambiental .....	171

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1 Calculo del UCL para una distribución Normal .....	61
Ecuación 2-2 Calculo del UCL para una distribución Log-Normal .....	61
Ecuación 2-3 Calculo del UCL para una distribución Gamma, cuando $n \leq 50$ .....	62
Ecuación 2-4 Calculo del UCL para una distribución Gamma, cuando $n > 50$ .....	62
Ecuación 2-5 Cálculo de los niveles de referencia por métodos estadísticos descriptivos.....	63
Ecuación 2-6 Ecuación para establecer niveles de referencia para una distribución No Normal .....	64

Ecuación 2-7 Ecuación lineal para establecer los niveles de referencia .....68

## **ÍNDICE DE MAPAS**

- Mapa N° 1.- Ubicación del área de estudio
- Mapa N° 2.- Puntos de muestreo de nivel de fondo
- Mapa N° 3.- Mapa Geológico
- Mapa N° 4.- Mapa Geomorfológico
- Mapa N° 5.- Mapa Hidrográfico
- Mapa N° 6.- Mapa de Cobertura Vegetal
- Mapa N° 7.- Mapa de Suelos
- Mapa N° 8.- Mapa de Capacidad de Uso Mayor de Tierras

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- Anexo N° 1.- Mapas
- Anexo N° 2.- Fichas de muestreo de suelos
- Anexo N° 3.- Ensayos de laboratorio y cadena de custodia
- Anexo N° 4.- Certificado de acreditación del laboratorio
- Anexo N° 5.- Análisis estadístico en proUCL
- Anexo N° 6.- Distribución espacial de los metales pesados

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar los niveles de referencia para los metales pesados aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc; teniendo en cuenta los niveles de fondo y las propiedades fisicoquímicas del suelo adyacente a la ciudad de Cerro de Pasco, por el método de ecuaciones lineales. Se realizó un muestreo estadístico aleatorio simple, obteniendo 21 muestras compuestas de 63 muestras simples y superficiales (0 – 30 cm de profundidad) en una extensión de terreno de 3 201 ha.

Los resultados se sometieron a un tratamiento estadístico para determinar los niveles de fondo, por medio de estadísticos descriptivos y el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética (UCL95). Se correlacionó las concentraciones totales de metales pesados con los parámetros fisicoquímicos del suelo, donde la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), la materia orgánica (M.O.) y el pH, obtuvieron un coeficiente de correlación superior a 0,7 para casi todos los metales evaluados, excepto para cromo, manganeso y plomo.

Las ecuaciones lineales generadas a partir de la C.I.C., M.O. y pH, permitieron definir los niveles de referencia para aluminio (24 439 mg/kg), bario (161 mg/kg), cobre (29 mg/kg) y zinc (552 mg/kg), considerando como nivel de fondo el UCL95 ya que presentó un mejor ajuste estadístico respecto a los estadísticos descriptivos. Sin embargo, se usó la expresión  $NR = \bar{X} + nDE$  para establecer los niveles de referencia para el cromo (26 mg/kg), manganeso (966 mg/kg) y plomo (62 mg/kg) considerando como nivel de fondo ( $\bar{X}$ ) el UCL95.

**Palabras clave:** Niveles de Fondo, Niveles de Referencia, Metales Pesados.

## ABSTRACT

This research has the objective to determine the reference levels for the heavy metals aluminum, barium, chromium, copper, manganese, lead and zinc; taking into account the background levels and the physicochemical properties of the soil near to Cerro de Pasco's city by the method of linear equations. A simple random statistical sampling was carried out, obtaining 21 samples composed of 63 simple and superficial soil samples (0 - 30 cm deep) in an extension of 3 201 ha.

The results were subjected to a statistical treatment to determine the background levels, by means of descriptive statistics and the Upper Limit of the Unilateral Confidence Interval of 95% of the Arithmetic Mean (UCL95). The total concentrations of heavy metals were correlated with the physicochemical parameters of the soil, where the cation exchange capacity (C.I.C.), organic matter (M.O.) and pH, obtained a correlation coefficient greater than 0.7 for almost all metals. tested, except for chromium, manganese and lead.

The lineal equations generated from C.I.C., M.O. and pH, allowed to define the reference levels for aluminum (24 439 mg/kg), barium (161 mg/kg), copper (29 mg/kg) and zinc (552 mg/kg), considering the UCL95 as background level since it a better statistical distribution with respect to descriptive statistics. However, the expression  $NR = \bar{X} + nDE$  was used to establish the reference levels for chromium (26 mg/kg), manganese (966 mg/kg) and lead (62 mg/kg) considering the UCL95 as background level ( $\bar{X}$ ).

**Keywords:** *Background Levels, Reference Levels, Heavy Metals.*

## introducción

La contaminación por metales pesados en el suelo constituye uno de los mayores problemas que atraviesan varios países del mundo. Además, de acuerdo a su carácter tóxico, móvil y acumulativo; llegan a interactuar con las propiedades edáficas del suelo las cuales facilitan en algunos casos el ingreso a la cadena trófica, los cuerpos de agua, cultivos agrícolas hasta llegar a afectar la salud de las personas (Rueda Saa, Rodríguez Victoria, & Madriñán Molina, 2011).

El aporte de los metales pesados en el suelo se da por fuentes naturales, tales como las erupciones volcánicas, geiseres, aguas termales (Micó Llopis, 2005) y los procesos edafogénicos y meteorización del material parental (Durán Cuevas, 2010); así como por fuentes antrópicas ligadas a las actividades industriales (minería, industria química, hidrocarburos, etc.).

Ante ello, algunos países desarrollados como Alemania, Estados Unidos, Suiza, entre otros, han establecido niveles de referencia para metales pesados en el suelo con rango normativo, a fin de obtener un mejor manejo en la planeación y gestión ambiental de este recurso (Rueda Saa *et al.*, 2011). De acuerdo con Brizuela & Jiménez (2012), es necesario definir las concentraciones totales de los metales pesados de un determinado lugar con poca o nula intervención antrópica (niveles de fondo o *backgrounds*) para cada región edafológica; y en base a ello poder establecer los niveles de referencia para cada zona geográfica.

Para el caso de Holanda, estos valores se determinaron en función a las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la arcilla y el contenido de materia orgánica (Brizuela & Jiménez, 2012). EE.UU elaboró la *Soil Screening Guidance*, incluyendo una

metodología para determinar el riesgo y los niveles de exploración para contaminantes en los suelos. En España se establecieron criterios para declarar un suelo contaminado a través del Decreto Real Español 19/2005 así como valores de referencia; los cuales se determinan a partir de la suma de la concentración media más el doble de la desviación típica de las concentraciones existentes en suelos de zonas próximas no contaminadas, con sustratos geológicos similares (Rueda Saa *et al.*, 2011).

El Perú actualmente ha establecido los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo para los tres (03) usos de suelo: Agrícola, Residencial/Parques y Comercial/Industrial/Extractivo; sin embargo, no cuenta con una metodología propiamente establecida para determinar niveles de referencia para los metales pesados en el suelo. Es por ello que la presente investigación pretende ser un referente en la determinación de estos niveles de referencia, mediante la aplicación de métodos estadísticos que involucren los niveles de fondo de los metales pesados y los parámetros fisicoquímicos del suelo que influyen sobre el comportamiento de estos metales pesados en un espacio geográfico determinado. Estos niveles de referencia serían un complemento a la normativa ambiental vigente (ECA Suelos) para los metales pesados, teniendo en cuenta las condiciones naturales predominantes del territorio nacional.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

Uno de los grandes problemas en materia ambiental a nivel mundial es la degradación y contaminación del suelo producto de las diversas actividades extractivas /industriales desarrolladas en las últimas décadas, cuyos riesgos han sido percibidos por sectores sociales cada vez más amplios (Sierra, 2005). El suelo constituye el soporte de la actividad humana (Micó Llopis, 2005); sin embargo, ha sido considerado como un sumidero de todo tipo de sustancias (Davies, 1980; Micó Llopis, 2005) siendo una de las formas más relevantes la contaminación por metales pesados (Brizuela & Jiménez, 2012).

Diversos países acometieron la investigación de la contaminación del suelo, estableciendo protocolos y métodos implantando niveles de referencia o estándares de calidad que permiten caracterizar y definir un suelo “contaminado”. Alemania, Estados Unidos, Suiza, entre otros, han establecido niveles de referencia para los metales pesados con rango normativo. En el caso de Holanda, estos valores se determinaron en función a las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la arcilla y el contenido de materia orgánica (Brizuela & Jiménez, 2012). EE.UU elaboró la *Superfund Soil Screening Guidance*, incluyendo una metodología para determinar el riesgo y los niveles de exploración para contaminantes en los suelos; asimismo, en España se fijaron criterios para declarar un suelo contaminado a través del Decreto Real Español 9/2005, así como valores de referencia; determinándose a partir de la suma de la concentración media más el doble de la desviación típica de las concentraciones existentes en suelos de zonas próximas no contaminadas, con sustratos geológicos similares (Rueda Saa *et al.*, 2011).

Ante ello, el Perú aprobó en el año 2013 los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo mediante D.S. N° 002-2013-MINAM, así como sus disposiciones complementarias mediante D.S. N° 002-2014-MINAM para su aplicación (actualmente derogada por el D.S. N° 011-2017-MINAM); donde se establecen estándares de calidad ambiental para los parámetros orgánicos e inorgánicos en el suelo, a fin de prevenir y mitigar los efectos adversos que pueden generar las actividades extractivas e industriales. Asimismo, se aprobó la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos mediante R.M. N° 085-2014-MINAM, estableciendo lineamientos para orientar las estrategias de muestreo en las diversas fases de investigación de sitios potencialmente contaminados y medidas de calidad en la toma de muestras de suelo (MINAM, 2014).

Sin embargo, los estándares de calidad ambiental o valores de referencia para el caso de metales pesados en el suelo no reflejan en muchos casos las concentraciones predominantes de estos metales pesados, debido a que se han adoptado valores de normativas internacionales; lo cual no es correcto porque estos valores no reflejan exactamente las concentraciones predominantes de un determinado lugar (Micó Llopis, 2005). Asimismo, no se tiene una metodología para establecer niveles de referencia de estos metales pesados que permita definir certeramente un sitio contaminado, donde se considere principalmente las concentraciones de estos metales en el suelo con poca o nula intervención antrópica y su distribución espacial (niveles de fondo o *backgrounds*), así como las propiedades fisicoquímicas del suelo que influyan sobre estas (Micó Llopis, 2005); teniendo en cuenta además la diversidad pedogénica, climática, litológica, fisiográfica y geomorfológica del lugar (Dos Santos & Alleoni, 2013).

Por lo tanto, la presente investigación propone una metodología para establecer niveles de referencia para metales pesados en el suelo a través de métodos estadísticos. Para ello se tomó un caso específico de contaminación por metales pesados en la ciudad de Cerro de Pasco, cuyas actividades mineras que datan del año 1902 han generado una gran cantidad de residuos mal dispuestos y sin ningún tratamiento, convirtiéndose en pasivos ambientales mineros (depósito de relaves Quiulacocha, depósito de desmontes Excélsior, entre otros) que han afectado negativamente al suelo y que constituyen un riesgo sobre la salud de las personas (CICA Ingenieros Consultores, 2016). Esta metodología permitirá conocer los niveles de referencia para los metales pesados en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco (principalmente aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc) a fin de aportar y complementar a la normativa ambiental vigente para la gestión de sitios contaminados.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema principal**

¿Cómo se puede establecer niveles de referencia para los metales pesados (Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn) considerando sus niveles de fondo y las propiedades fisicoquímicas de los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo se determinan los niveles de fondo para los metales pesados en el suelo?
- ¿De qué manera se puede establecer una relación entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones de los metales pesados en el suelo?
- ¿Cómo se puede definir las propiedades fisicoquímicas del suelo que intervienen sobre los niveles de referencia para los metales pesados en el suelo?

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Antecedentes Nacionales**

**Ponce Bravo (2018)**, en su tesis de grado: *“Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, distrito de La Oroya, provincia de Yauli, departamento de Junín”*, determinó que las condiciones del suelo son acidas con excesivas concentraciones de As, Cd, Cu, CN Libre, Pb, Se y Zn en el área de estudio; así como un cambio notorio sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo. Asimismo, considerando el Índice de Geoacumulación (Igeo) se determinó que los suelos se encuentran moderado a fuertemente contaminado por la presencia de Cd, Cr, Hg, Pb y Zn; el Factor de Enriquecimiento (FE) para el área de estudio indicó que los suelos se encuentran enriquecidos por Cd, Hg, Pb, y Zn; y el Índice de la Calidad del Suelo (SoQI) concluyó que los suelos evaluados tienen un nivel de preocupación alto a muy alto para las personas y el ecosistema; todo esto producto de la deposición atmosférica continua de material particulado proveniente del Complejo Metalúrgico de La Oroya.

**Mosquera Lenti (2017)**, en su tesis de maestría: *“Variabilidad Espacial de Propiedades Físicas y Químicas en un Suelo Agrícola en el Valle del Mantaro”*, tuvo como objetivo determinar la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas en un suelo agrícola ubicado en el Valle del Mantaro y su relación con la topografía; para ello definió como área de estudio una parcela de 5 200 m<sup>2</sup> en la comunidad campesina de Aramachay, la cual subdividió en 52 subparcelas de 10 x 10 m. Asimismo, tomó muestras en la capa superficial (0 - 25 cm) en cada intersección, donde analizó el color, la densidad aparente, humedad gravimétrica, pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, fósforo y potasio disponibles,

cationes cambiables y microelementos. Las variables cuantitativas fueron comparadas entre sí para determinar el grado de correlación lineal, y sometidas al análisis multivariado de componentes principales (ACP). Sus resultados mostraron una alta variabilidad espacial en la parcela estudiada, presentando una correlación significativa entre la variación del relieve y los diversos parámetros analizados; así también entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, el calcio intercambiable y los contenidos de zinc y hierro. La materia orgánica presentó un incremento en las partes bajas de la parcela, la cual fue disminuyendo hacia las partes altas; asimismo, la densidad aparente, el potasio extraíble, el potasio cambiante, el manganeso y en menor grado el pH, tuvieron una correlación positiva con la altitud del terreno, presentando una disminución para cada uno de estos parámetros conforme la altitud decrece.

**Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2016)**, el Informe N° 119-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI *“Informe de Identificación de sitios contaminados en el ámbito de la subcuenca del río San Juan, 2016”* tuvo como objetivos evaluar las áreas de potencial interés influenciadas por las unidades fiscalizables Cerro de Pasco, Planta de Óxidos, Pasivos Ambientales Mineros (depósito de desmontes Excelsior y antiguo depósito de relaves Quiulacocha), y Colquijirca en el ámbito de la subcuenca del río San Juan, provincia y departamento de Pasco. Asimismo, procedió a la determinación de los Niveles de Fondo a través del cálculo del UCL95 con el software estadístico ProUCL 5.0 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA). Sus resultados mostraron diferencias significativas de los Niveles de Fondo obtenidos para los treinta (30) metales pesados evaluados en el suelo, de acuerdo a las asociaciones de suelo tipo

Regosol dístico – Cambisol dístico y Leptosol dístico – Andosol vítrico. De la misma manera, se determinó los Niveles de Referencia a partir de la cota superior del percentil 95.

**Ruiz Olortino (2016)**, en su tesis de maestría: “*Estudio Fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Caca, provincia de Yauyos, Lima*”, tuvo como objetivo evaluar los indicadores fisicoquímicos que determinan la fertilidad de los suelos, analizando los niveles de calidad de los mismos en un sistema de andenería a fin de proponer indicadores que explican la variabilidad para la recuperación de la capa arable de los andenes abandonados, específicamente el sistema de andenería del centro poblado de Caca, con 40 ha de áreas de cultivo y ubicado en la margen izquierda de la parte alta de la microcuenca del río Caca, provincia de Yauyos, región Lima. Las muestras de suelos fueron tomadas en dos periodos: el 24 de mayo y 19 de julio de 2015, teniendo como base un patrón de muestreo de rejillas regulares, colectándose 9 muestras superficiales de 0-30 cm de profundidad; asimismo, aplicó métodos quimiométricos (Análisis de Componentes Principales – ACP) de las variables estudiadas para encontrar diferencias en las áreas de cultivos. Sus resultados indicaron que los suelos del área de estudio presentaron buena compactación, baja salinidad, altos contenidos de micronutrientes disponibles (Fe, Cu y Zn) y la presencia de suelos ácidos.

**Quiroz Ramírez (2011)** en su tesis de maestría: “*Valoración Ambiental de la Calidad del Suelo en la Microcuenca Picuroyacu en el distrito de Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco*”, tuvo como objetivo valorar la calidad del suelo en base a su toxicidad real y potencial. Para ello evaluó la calidad ambiental del suelo de la microcuenca

Picuroyacu por presencia de metales pesados como Cu, Pb, Cd y Zn; así como las características físicas y químicas de los suelos (pH, Mo, Arcilla, CaCO<sub>3</sub> y CIC), considerando un total de 36 muestras tomadas al azar. La clasificación del suelo según su contaminación, consistió en determinar los niveles de fondo para cada metal pesado (concentración media) y los niveles de referencia (nivel de fondo más 2 veces la Desviación Estándar), clasificando estos suelos en 4 clases de acuerdo a los valores litológicos, establecidos por Kabata Pendias (1992). Por último, para la valorización del riesgo de toxicidad del suelo por metales pesados, se determinó Valores Indicativos de Evaluación (VIE) aplicando la metodología establecida por IHOBE (1994) y los contenidos disponibles de estos metales, necesarios para determinar su toxicidad real y potencial. Sus resultados concluyeron que el Cd presenta un peligro real y potencial de toxicidad para los suelos de las clases 2 y 3 en todas las muestras analizadas; sin embargo, respecto al Pb, Zn y Cu, se determinó que el 100% de los suelos pertenecen a la clase 1, donde las concentraciones de estos metales no sobrepasan el valor de referencia.

### **1.2.2. Antecedentes Internacionales**

**Sánchez Puentes (2017)**, en su tesis de grado: “*Concentraciones Naturales de Metales en Suelos de la III Región de Chile*”, estableció la concentración natural o *background* de metales en los suelos de las comunas de Copiapó, Chañaral, Tierra Amarilla y Diego de Almagro, III región de Chile. Para ello consideró una base de datos en relación a la concentración de metales pesados (As, Cu, Mn, Fe, Al, Ni, Co, Cd, Pb y Hg) en un suelo superficial (0-20 cm de profundidad), tomando así un total de 441 muestras de suelo distribuidas en 63 sitios sin influencia de actividades antropogénicas. Asimismo, realizó un análisis estadístico univariado para calcular los parámetros clásicos y

robustos, a fin de caracterizar la distribución estadística de los datos (usando previamente la transformación *Isometric Log-ratio*). Luego determinó el rango de concentraciones naturales y valores anómalos de cada metal aplicando el *boxplot*, y representar su distribución espacial mediante mapas geoquímicos. Sus resultados determinaron que las concentraciones presentes en el suelo se deben a fuentes naturales o geogénicas (sin descartar fuentes antropogénicas difusas), teniendo en cuenta las asociaciones químicas resultantes del análisis estadístico multivariado y criterios geológicos; elaborando de esta manera un mapa geoquímico referencial definiendo al arsénico como elemento de referencia para representar la concentración por exposición más probable con un valor UCL 95% para cada sitio de muestreo. Todo ello con la finalidad de proporcionar información referencial que pueda ser utilizada para la toma de decisiones en materia de salud pública, ordenamiento territorial, protección y manejo de suelos.

**Lv, et al., (2015)**, en su artículo de investigación: “*Identifying the origins and spatial distributions of heavy metals in soils of Ju country (Eastern China) using multivariate and geostatistical approach*”, analizó la distribución de las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, y Zn, provenientes de un total de 646 muestras (511 muestras tomadas a una profundidad de 0-20 cm en una grilla de 2x2 km<sup>2</sup> y 135 muestras a una profundidad de 150-200 cm en una grilla de 4x4 km<sup>2</sup>). Además, consideró los análisis multivariados (correlaciones, análisis de componentes principales, análisis de conglomerados) y el método del factor de enriquecimiento, para identificar las fuentes de los metales pesados en el *topsoil*. Concluyó que las capas superficiales mostraron una acumulación significativa de Cd, Cu, Hg, Pb y Zn; respecto a las concentraciones de Co, Cr, Mn, Ni, y V, estas fueron derivadas del

material parental; además, las concentraciones de Cd, Cu, Pb, y Zn, fueron derivadas de la combinación de fuentes antrópica y naturales; y, por último, la deposición atmosférica constituyó una fuente dominante en las concentraciones de Hg. Además, se usó la herramienta *kriging* ordinario para mapear las distribuciones espaciales de la concentración de metales pesados en las capas superiores del suelo.

**Mirzaei, Esmaili-Sari, Hemami, Rezaei, & Rodríguez Martín (2014)**, en su artículo de investigación: “*Levels and Variability of Metals in Soils of the Province of Golestan (Iran)*”, cuantificó el contenido y las distribuciones espaciales de cinco metales (Cd, Cu, Pb, Ni y Zn), en base a 346 muestras de suelo en 12 distritos en la provincia de Golestan (Irán) y a una profundidad de 0 – 30 cm. Consideró el análisis estadístico estándar para describir las concentraciones de los metales, luego realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) a fin de simplificar un conjunto de datos complejos y crear una o más variables o factores; asimismo, realizó la prueba ANOVA para determinar las diferencias entre las concentraciones de metales en los 12 distritos, y en base a ello calcular el Factor de Contaminación ( $C_f^i$ ) y el Grado de Contaminación ( $C_{deg}$ ) de los 5 metales. Concluyó que las concentraciones de los metales analizados provenían de fuentes naturales y antrópicas, mostrando diferencias significativas en cada uno de los distritos evaluados; además, los valores calculados de  $C_f^i$  de los metales en la capa superior del suelo mostraron una baja contaminación por metales, indicando que el 58% de los 12 distritos estudiados tenían valores moderados de  $C_{deg}$  y estaban moderadamente contaminados. La influencia antrópica se observa en los contenidos de Cd, Pb y Zn en el suelo, en oposición a la influencia geoquímica causada por el material parental sobre los contenidos de Cu y Ni. A pesar de ello, los metales generalmente no mostraron altos niveles en los suelos en la provincia de Golestán.

**Dos Santos & Alleoni (2013)**, en su artículo de investigación: “*Reference values for heavy metals in soils of the brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia*”, determinó los niveles naturales y los valores de referencia para Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en muestras de la capa superficial (0-20 cm) provenientes de 19 suelos representativos de los estados de Mato Grosso y Rondônia. Para ello, empleó el método de digestión por agua regia y digestión en microondas (EPA3051); asimismo, se determinaron los valores de referencia para cada elemento mediante métodos estadísticos descriptivos como los percentiles 75 y 95 de la distribución de frecuencia de los datos, eliminando aquellos valores anómalos. Sus resultados mostraron que los suelos predominantes fueron de tipo Oxisoles y Ultisoles, altamente ácidos y con niveles bajos de metales pesados, siendo el material parental el principal determinante en su distribución; asimismo, los niveles registrados fueron equivalentes a los reportados en otros estados de Brasil, a excepción del Co el cual obtuvo valores más altos, reforzando así la necesidad de determinar valores de referencia para cada estado o cada tipo de suelo, teniendo en cuenta la diversidad geomorfológica, pedológica y geológica de cada estado.

**Brizuela & Jiménez (2012)**, en su artículo de investigación: “*Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos*”, recopiló información sobre las diferentes metodologías aplicadas para establecer los Niveles de Referencia (NF) para metales pesados en suelos, a fin de que sirva de orientación en la discusión de nuevas normativas y/o criterios en posteriores estudios ambientales, relacionados con la caracterización de la contaminación en un suelo de uso agrícola o industrial

potencialmente contaminado por metales pesados; generando de esta manera un esquema general que engloba las metodologías aplicadas.

**Rueda Saa, Rodríguez Victoria, & Madriñán Molina (2011)**, en su artículo de investigación: “*Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia*”, analizó diferentes conceptos relacionados con los niveles de metales pesados en suelos agrícolas y la incidencia de las características edafológicas en su concentración; así como las metodologías para derivar valores de referencia específicos aplicables a suelos agrícolas colombianos (métodos estadísticos descriptivos, gráficas probabilísticas, método *Bootstrap* y ecuaciones lineales), con la finalidad de plantear perspectivas orientadas a la protección y recuperación de los suelos en Colombia. Concluyó que la aplicación de una u otra metodología, dependerá de las características edafológicas específicas en un área geográfica y del tipo de distribución de los datos de concentración de los metales pesados.

**Gjoka, Felix-Henningsen, Wegener, Salillari, & Beqiraj (2011)**, en su artículo de investigación: “*Heavy metals in soils from Tirana (Albania)*” estableció niveles de fondo y de referencia para los metales totales (Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, y Cu) presentes en los suelos de un área representativa de Albania (Tirana); empleando un total de 38 muestras provenientes de los horizontes genéticos de los principales tipos de suelos de Tirana. Para determinar los niveles de fondo, aplicó el Percentil 90 de la concentración de los metales pesados evaluados; asimismo, para determinar los niveles de referencia aplicó las formulas del sistema holandés, teniendo como atributos la influencia de la materia orgánica y la arcilla. Sus resultados mostraron que los niveles de fondo

excedían a los reportados en su literatura, concluyendo que estas concentraciones están influenciadas por el material parental; además, para aquellos puntos donde se registraron concentraciones superiores a los niveles de fondo establecidos, se asoció a la influencia de actividades antropogénicas presentes en el área de estudio.

**Micó Llopis, C. (2005)**, en su tesis doctoral: “*Estudio de Metales Pesados en Suelos con Cultivos Hortícolas de la Provincia de Alicante*”, caracterizó los suelos con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante, mediante el análisis de las propiedades y características edáficas de estos suelos, determinar el contenido total y extraíble de nueve (09) metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en 54 muestras de suelos seleccionadas aleatoriamente, así como en algunos cultivos hortícolas. Para ello estudió las relaciones estadísticas (correlaciones, regresiones, análisis factorial y análisis clúster) entre las diferentes variables analizadas, a fin de realizar una propuesta de niveles de fondo y valores de referencia para metales pesados en este tipo de suelos, aplicando métodos estadísticos descriptivos, gráficas probabilísticas, el método *Bootstrap* y ecuaciones lineales. Sus resultados fueron similares para los cuatro métodos aplicados; sin embargo, los valores de referencia calculados a partir de las ecuaciones lineales, fueron indudablemente más realistas a comparación de los valores de referencia calculados por las otras metodologías, donde no se tiene en consideración la influencia de las características y propiedades edáficas en la dinámica de los metales pesados.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Establecer niveles de referencia para los metales pesados (Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn) considerando sus niveles de fondo y las propiedades fisicoquímicas de los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco, por el método de ecuaciones lineales.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los niveles de fondo para los metales pesados en el suelo, a través de métodos estadísticos descriptivos y el cálculo del UCL95.
- Establecer la relación entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones de los metales pesados en el suelo, por medio de correlaciones estadísticas.
- Definir las propiedades fisicoquímicas del suelo que intervienen sobre los niveles de referencia para los metales pesados en el suelo, a través de regresiones lineales múltiples.

### **1.4.Justificación**

Actualmente, ya se han establecido valores de referencia para los metales pesados aplicando diferentes metodologías en países de Europa y América; sin embargo, muchas de ellas no siguen los mismos protocolos para la obtención de los datos (Sánchez Puentes, 2017; Brizuela & Jiménez, 2012). Es por ello que, de acuerdo al origen de estos metales resulta una tarea compleja a la hora de definir un suelo contaminado o no (Brizuela & Jiménez, 2012); más aún cuando se adoptan valores de referencia de otros países, lo cual no es correcto porque estos valores no reflejan exactamente las concentraciones predominantes de un determinado lugar (Micó Llopis, 2005).

Dentro de las distintas metodologías aplicadas para calcular estos valores de referencia, la EPA ha propuesto un conjunto de ecuaciones para el cálculo de estos valores en función de distintos escenarios (residencial, industrial, agrícola, etc.), vías de exposición (ingestión del suelo, contacto dérmico; inhalación) y tipo de contaminante; mediante criterios toxicológicos y ecotoxicológicos (Sierra, 2005; Brizuela & Jiménez, 2012), donde se requiere calcular varios parámetros con datos locales, siendo de difícil acceso en algunos casos.

Por otra parte, en países de Europa se han aplicado metodologías, tales como los métodos estadísticos descriptivos, graficas probabilísticas, método *Bootstrap* y de ecuaciones lineales; donde este último plantea calcular primeramente los niveles de fondo y en base a ello obtener los niveles de referencia (Rueda Saa *et al.*, 2011). Además, este método permite establecer niveles de referencia específicos de un área de estudio teniendo en cuenta las propiedades edáficas del suelo (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011; Brizuela & Jiménez, 2012).

El Perú no está exento a desarrollar y/o aplicar metodologías las cuales determinen estos valores de referencia acordes con la variabilidad edáfica presente en el territorio y las propiedades fisicoquímicas predominantes; toda vez que no es correcto definir un único valor (ECA) para cada uno de los metales pesados presentes en todos los suelos del territorio nacional.

## **1.5.Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El método de ecuaciones lineales permitirá establecer los niveles de referencia para metales pesados (Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn), toda vez que este método considera

sus niveles de fondo, así como las propiedades fisicoquímicas en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco; es decir, busca explicar la influencia de las propiedades fisicoquímicas sobre la dinámica, distribución y variabilidad de las concentraciones de los metales pesados para poder establecer un nivel de referencia que contribuya a la gestión de los sitios contaminados.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Los métodos estadísticos descriptivos y el cálculo del UCL95 determinarán los niveles de fondo de acuerdo a la distribución estadística que presenten los metales pesados en el suelo.
- Las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones de los metales pesados en el suelo estarán correlacionadas estadísticamente entre sí.
- Las regresiones lineales múltiples permitirán definir las propiedades fisicoquímicas del suelo que intervendrán sobre los niveles de referencia para los metales pesados en el suelo.

### **1.6.Importancia**

La presente investigación aportará al conocimiento y será de gran utilidad por los entes y autoridades competentes como el Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), entre otros; además de ser la primera investigación a nivel nacional relacionada a la determinación de niveles de referencia para metales pesados en el suelo, adoptando una metodología estadística que complemente a los actuales Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo y su aplicación en la gestión de sitios contaminados. Esta metodología contempla las

concentraciones de los metales pesados en suelos naturales sin influencia de las actividades antropogénicas (niveles de fondo), así como la influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo que influyen sobre los niveles de referencia para metales pesados. Es importante tener en cuenta que no se puede definir un único valor referente para todo el territorio nacional; toda vez que existen muchos factores que ha influenciado en la formación de los suelos del territorio peruano, de acuerdo a sus características geológicas, geomorfológicas, fisiográficas, edáficas y climatológicas, las cuales condicionan la variabilidad de las concentraciones de los metales pesados, su distribución espacial y su disponibilidad hacia posibles receptores (personas, animales, ecosistemas, etc.).

## I. MARCO TEÓRICO

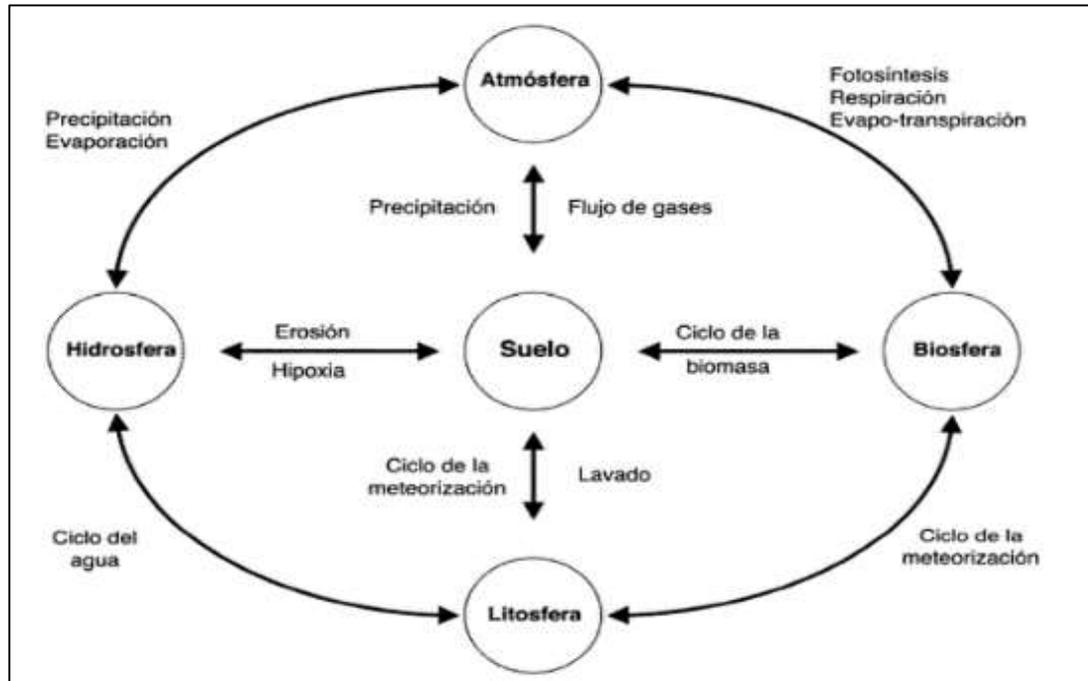
### 2.1. El suelo

Según Porta Casanellas, López - Acevedo Reguerín, & Poch Claret (2008), se define al suelo como un cuerpo natural vivo y dinámico, el cual constituye una interfase que permite intercambios entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera; desempeñando así múltiples funciones y papeles clave en los ecosistemas terrestres. También, se define como un cuerpo natural no consolidado conformado por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases (Volke Sepúlveda, Velasco Trejo, & de la Rosa Pérez, 2005); donde la combinación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas permite el desarrollo de sus funciones básicas (Blum, 1990; citado por Micó Llopis, 2005).

Porta Casanellas *et al.*, (2008) sostiene que el suelo presenta las siguientes funciones: producción de biomasa (masas forestales, alimentos, forraje, entre otros), mantenimiento y mejora de la calidad del agua (filtrado, intercambio iónico), fuente de materias primas (arcilla, grava, arena, caliza, hierro, aluminio, etc.), regulación del ciclo hidrológico (almacenamiento y transferencia de agua), fijación de gases de efecto invernadero (secuestro de carbono), regulación del microclima (absorción de la radiación solar e intervención en la evaporación), hábitat biológico (al ser un medio poroso, constituye una reserva de biodiversidad), soporte físico de las actividades humanas (viviendas, industrias, entre otros), mantenimiento del paisaje (calidad paisajística), protección de restos arqueológicos y fuente de información geológica y geomorfológica.

**Figura 2-1**

*Procesos interactivos entre el sistema - suelo*



Nota: Adaptación de la figura original de Lal (2006); de la Rosa (2008).

### **2.1.1. Factores formadores del suelo**

Desde la perspectiva de su formación, el suelo se ha desarrollado a lo largo del tiempo bajo la influencia de los factores ecológicos de formación (Jenny, 1941; Porta Casanellas *et al.*, 2003; Porta Casanellas *et al.*, 2008); tales como el material originario o parental (r), clima (cl), organismos vivos (o), geomorfología (g) y tiempo (t); y sus formas de combinarse hacen que los suelos presenten una gran variabilidad espacio-temporal. Es por ello que se le considera como un recurso natural no renovable, considerando un tiempo de formación largo si lo llevamos a una escala de tiempo humano (Jenny, 1980; citado por Gonzáles - Quiñones, 2006); toda vez que posee una tasa lenta de formación de 100 a 400 años/cm (Jenny, 1980).

Asimismo, se han destacado el papel por otros factores (Porta Casanellas, López - Acevedo Reguerín, & Roquero de Laburu, 2003), como el caso de Gaucher (1981) que considera los factores hidrológicos, la influencia del hombre, la influencia global del medio de edafogénesis y la evolución del medio geológico y de los paleoambientes de edafogénesis. Si bien es cierto que estos factores son determinantes en su formación, también es importante destacar que la influencia antrópica ha conllevado a introducir el concepto de Anthrosol, referido a los suelos antrópicos y Technosol, relacionado suelos tecnogénicos (Porta Casanellas *et al.*, 2008).

Se planteó una formulación inicial por Jenny (1941) la cual ha sido modificada al transcurrir las investigaciones, con diferentes criterios y de una manera sencilla (Porta Casanellas *et al.*, 2008). Esta formulación planteaba inicialmente a estos factores formadores como variables independientes, tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$S = f(cl, o, g, r)_t$$

Esto indica que el suelo es un sistema dinámico el cual se encuentra constantemente en evolución (Porta Casanellas *et al.*, 2003); sin embargo, al intervenir el hombre, el ciclo natural es perturbado por los efectos de uso y manejo (m). Es por ello que se introdujo dos escalas de tiempo, donde la primera ( $t_1$ ) corresponde a los factores ecológicos de formación; y la segunda ( $t_2$ ) a escala humana (Porta Casanellas *et al.*, 2008), planteándose la siguiente expresión:

$$S = f(cl, o, g, r)_{t_1} + m_{t_2}$$

Este enfoque solo permite conocer los factores de entrada y salida (*inputs y outputs*), mas no en los procesos que han tenido lugar durante la edafogénesis (Porta Casanellas *et al.*, 2008).

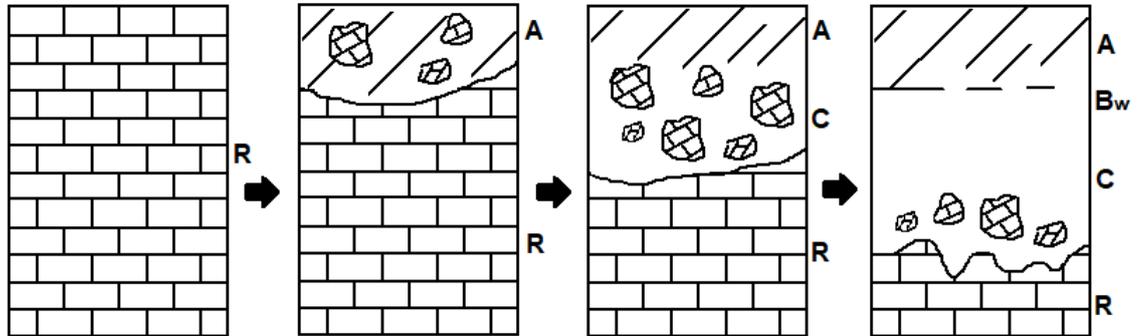
### **2.1.2. Horizontes genéticos**

Debido a la acción de los factores de formación del suelo, se producen la diferenciación de capas horizontales de distinta composición como resultado de la evolución o génesis del suelo (Porta Casanellas *et al.*, 2003), las cuales tienen propiedades y características diferentes. Cuando se realiza un perfil del suelo, podemos ver la sección vertical de los distintos horizontes que la componen y los resultados de los diversos procesos que han intervenido en su formación. Además, de acuerdo a las distintas condiciones del terreno, estos horizontes permiten diferenciar estos suelos unos de otros y las distintas morfologías que las caracteriza.

Para poder diferenciar estos horizontes, Dokuchaev a mediados del siglo XIX, introdujo las primeras letras del alfabeto latino, cuyo uso se ha generalizado a nivel mundial y ha resultado de gran ayuda a la hora de transferir información respecto a su morfología (Porta Casanellas *et al.*, 2003); es decir, la evaluación del pedón *in situ* (Ramírez Zumaeta, 2016).

## Figura 2-2

Proceso de formación del suelo a partir de una roca caliza



Nota. <sup>R</sup> Roca consolidada subyacente (roca madre). <sup>A</sup> Horizonte mineral oscurecido por aporte de materia orgánica. <sup>Bw</sup> Horizonte mineral de transición (meteorización). <sup>C</sup> Horizonte mineral poco afectado por los procesos edafogénicos.

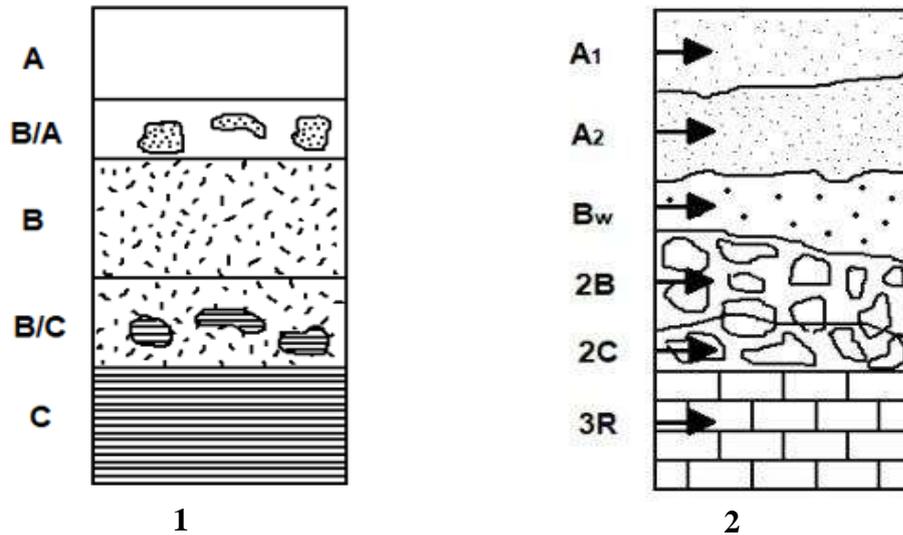
Adaptado de Porta Casanellas *et al.* (2003).

Porta Casanellas *et al.*, (2003) indica lo siguiente:

“Los horizontes principales se denominan por medio de letras mayúsculas (A, B, C, etc.), el proceso principal responsable de la formación del horizonte se indica por letras minúsculas que se añaden al horizonte principal (w = meteorización, t = acumulación de arcilla, entre otros), los índices numéricos designan una secuencia en la posición del horizonte dentro del suelo (Bt1, Bt2, etc.), los horizontes de transición se designan por la combinación de las letras de los horizontes afectados, sin índices (A/B, B/A, cuando los horizontes principales son identificables; AB, BA, cuando existe un cierto predominio de las características de un horizonte sobre el otro) y para indicar discontinuidades litológicas, se antepone a la letra del horizonte un número arábigo de forma secuencial (A2C, etc.).”

## Figura 2-3

### *Horizontes genéticos del suelo*



Nota. <sup>1</sup> Horizontes genéticos principales y de transición. <sup>2</sup> Horizontes principales, de acuerdo al proceso principal de formación, secuencia en la posición.  
Adaptado de Porta Casanellas *et al.* (2003).

### 2.1.3. Calidad del suelo

El término Calidad según la RAE (2018), deriva del latín *qualitas* y se define como la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permite juzgar su valor. No obstante, a lo largo de las investigaciones relacionadas a contaminación de suelos ha existido una polémica para definir a la calidad de suelo, puesto que se le atribuía con la productividad del mismo; sin embargo, estas definiciones han ido evolucionando al pasar de los años (Bautista Cruz, Etchevers Barra, del Castillo, & Gutiérrez, 2004) teniendo en cuenta principalmente la disciplina y el contexto donde se aplique.

Actualmente existen muchas definiciones sobre calidad del suelo donde gran parte de ellas puedan parecer subjetivas en algunos casos; no obstante, podemos decir que la calidad del suelo se define como la capacidad que posee para funcionar dentro de los

límites de un ecosistema natural (USDA, 2001; Ruiz Olortino, 2016) o manejado (Karlen *et al.*, 1997; Bautista Cruz, *et al.*, 2004) del cual forma parte y con el que interactúa (Parr *et al.*, 1992; Bautista Cruz *et al.*, 2004); así como mantener la productividad del sistema (sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas), su capacidad de amortiguación ante contaminantes, patógenos, y favorecer la salud de las plantas, animales y personas (Doran *et al.*, 1994; Karlen *et al.*, 1997; Bautista Cruz *et al.*, 2004; Porta Casanellas *et al.*, 2008).

Esta definición viene a ser la más aceptada puesto que fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la *Soil Science Society of America* (Karlen *et al.*, 1997; Bautista Cruz *et al.*, 2004) y la necesidad de estimarla ha surgido a raíz de la inminente contaminación producto de las actividades antrópicas, ya sea de tipo puntual o difusa (Van Camp *et al.*, 2004; Micó Llopis, 2005) ya que nos permite comprender la utilidad y salud de este recurso que influyen en la calidad de vida de las personas y los ecosistemas.

#### **2.1.4. Indicadores de la calidad del suelo**

Se entiende como indicador a un número y/o descriptor que representa una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esta condición (Dumanski, Gameda, & Pieri, 1998; Porta Casanellas *et al.*, 2008; Bautista Cruz *et al.*, 2004), en otras palabras, viene a ser un parámetro o un valor resultante de un conjunto de parámetros que ofrece información sobre un fenómeno (González - Quiñones, 2006; Bautista Cruz *et al.*, 2004) el cual simplifica información relevante del mismo para hacerlo perceptible, cuantificable y medible (Cantú, Becker, & Bedano, 2007).

Para evaluar los cambios en la calidad del suelo es necesario conocer las variables que permitan saber su condición y cambio de estado, González - Quiñones (2006) sostiene que la calidad del suelo está determinada por un gran número de factores o propiedades del suelo (indicadores de calidad del suelo), ya sean físicas, químicas o biológicas; así como los procesos que ocurren sobre el mismo (Bautista Cruz *et al.*, 2004). Sin embargo, no todas ellas pueden tener la misma relevancia para todos los suelos (Ruiz Olortino, 2016), puesto que los indicadores que se empleen en función a los objetivos de cada estudio y deben reflejar las principales restricciones del suelo (Bautista Cruz *et al.*, 2004).

- Las propiedades físicas del suelo que puedan ser usadas como indicadores de calidad, reflejan el comportamiento mecánico del suelo y son expresión del balance existente entre los componentes del suelo (Yakabi Bedriñana, 2014) las cuales refleja como este recurso retiene y transmite agua a las plantas y las limitaciones que puedan presentarse en el crecimiento de sus raíces, la infiltración, etc. (Rodríguez Almonte, 2016).
- Las propiedades químicas del suelo son aquellas que determinan el aporte y disponibilidad de los nutrientes (Yakabi Bedriñana, 2014) de acuerdo a sus componentes orgánicos e inorgánicos y los fenómenos que permiten mezclarse entre ellos (Huerta Cantera, 2010).
- Las propiedades biológicas del suelo integran aquellos factores que influyen en la calidad del suelo, como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos (Bautista Cruz *et al.*, 2004).

**Tabla 2-1***Indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo*

<b>Indicadores</b>	<b>Función / Descripción</b>	<b>Valores o unidades</b>
<b>Físicas</b>		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Densidad Aparente	Grado de compactación del suelo, capacidad de infiltración de agua	g/cm <sup>3</sup>
Humedad	Retención de agua y transporte, fertilidad y productividad del suelo	%
Color	Naturaleza de los componentes del suelo	Escala de Munsell
<b>Químicas</b>		
pH	Movilidad, disponibilidad de nutrientes, influye sobre los procesos biológicos y la actividad bacteriana.	0-14
Conductividad Eléctrica Salinidad	Medida de salinidad del suelo, capacidad de transportar cargas eléctricas	dS/m
Materia orgánica (N y C total)	Estabilidad del suelo, fertilidad, capacidad reguladora	%
Capacidad de Intercambio Catiónico	Capacidad de adsorber cationes intercambiables en el suelo, determina el potencial nutricional	meq/100g
Nutrientes	Determina la fertilidad del suelo, crecimiento de las plantas	N (%) P (ppm) K (ppm)
<b>Biológicas</b>		
Biomasa microbiana (C y N)	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N,	Kg de N o C ha <sup>-1</sup> relativo al C y N total o CO <sub>2</sub> producidos

<b>Indicadores</b>	<b>Función / Descripción</b>	<b>Valores o unidades</b>
Respiración, humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo a la actividad de la biomasa microbiana
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> relativo al contenido de C y N total

Nota. Adaptado de Doran *et al.* (1994); Bautista Cruz *et al.* (2004); Jiménez Ballesta & Gonzales-Quiñones (2006); Yakabi Bedriñana (2014) y Rodríguez Almonte (2016).

Es importante resaltar que muchos de los indicadores disponibles para estimar la calidad del suelo varían para cada lugar, dependiendo de los factores de formación principalmente (Bautista Cruz *et al.*, 2004) y su selección debe centrarse en los horizontes superficiales (20 – 30 cm) sobre el cual se enfocan las propiedades dinámicas del suelo (Jiménez Ballesta & Gonzales-Quiñones, 2006).

Según Doran *et al.* (1994), Bautista Cruz *et al.* (2004) y Cantú *et al.* (2007), estos indicadores deben cumplir ciertas condiciones:

- Describir los procesos del ecosistema,
- Integrar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo,
- Reflejar los atributos de sostenibilidad,
- Variación en el tiempo para su seguimiento,
- Sensibilidad a variaciones de clima y manejo, así como a los cambios como resultado de la degradación antropogénica,
- Accesibilidad y aplicabilidad a condiciones de campo,
- Ser reproducibles, de fácil entendimiento y tener un alto grado de agregación,
- Limitados en número y manejables por diversos usuarios.

### **2.1.5. Variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del suelo**

Uno de los aspectos importantes del suelo es la heterogeneidad de sus características y/o propiedades fisicoquímicas, las cuales varían de un lugar a otro; por lo cual podemos indicar que en suelos vecinos se puedan encontrar diferencias graduales (Mosquera Lenti, 2017). La variabilidad espacial de estas propiedades se da bajo diferentes ambientes edafoclimáticos, en la cual muchas investigaciones tuvieron el fin de determinar la respuesta del suelo a usos específicos con determinadas prácticas de manejo y su relación con el rendimiento de distintos cultivos (Cahn, Hummel, & Broker, 1994; Rey & Ovalles, 2001, Frogbrook *et al.*, 2002; Bravo *et al.*, 2011), demostrando que no existe un patrón único de distribución espacial del suelo, la cual puede ser influenciada por el manejo agrícola y la escala de muestreo (Bravo *et al.*, 2011).

De acuerdo con Mosquera Lenti (2017) y Rodríguez Garay (2015), la variabilidad espacial contempla dos componentes según la fuente de error que produce la variación: Variación Sistemática, aquella que puede ser atribuida a causas conocidas, entendibles y predecibles (factores de formación, geomorfología, etc.) y la Variación Aleatoria, la cual no puede ser explicada y depende de factores como la actividad humana, flora y fauna. Hay que tener presente que, de acuerdo a los objetivos de estudio como el caso de productividad de cultivos, fertilidad, entre otros, la variabilidad dependerá de las propiedades que se analicen; siendo en algunos las propiedades químicas del suelo que presenten mayor variabilidad respecto de las propiedades físicas (Vargas S., Serrato C., & Torrente T., 2015).

Una forma de estudiar estas variaciones es a través de técnicas geoestadísticas, las cuales se basa en la correlación espacial de los datos entre sí, y a medida que se aleja uno de otro, la dependencia espacial disminuye (Obando *et al.*, 2005; Rodríguez Garay, 2015).

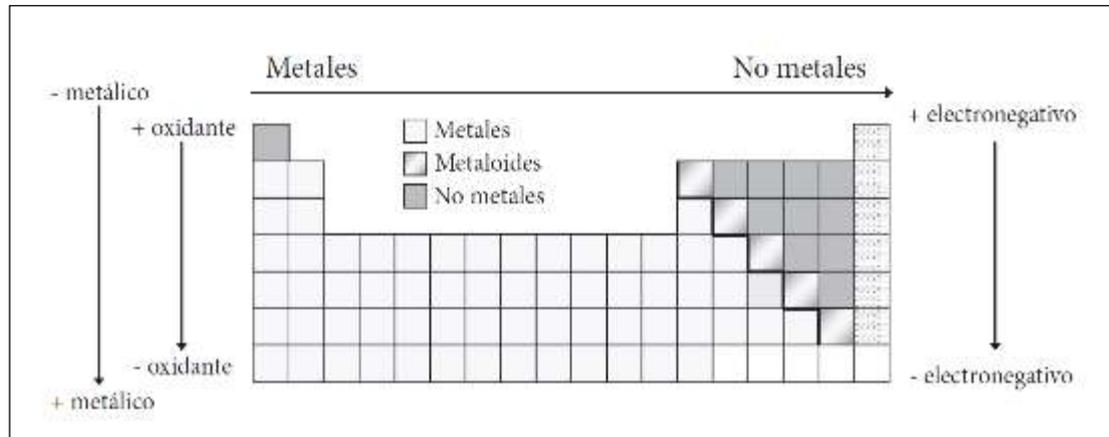
## **2.2. Metales pesados**

El término “metal pesado” es usado para nombrar a los metales y metaloides que se han asociado a la contaminación y toxicidad potencial o ecotoxicidad; no obstante, este término no está bien definido y se considera una mala denominación según el informe técnico de la IUPAC: “*Heavy metals*” a meaningless term? debido a su definición contradictoria y falta de bases de coherencia científica (Duffus, 2002, p.794). De acuerdo a este documento, el término “metal pesado” conduce a una mayor confusión, debido a que “pesado” en su uso convencional implica alta densidad; y “metal” hace referencia al elemento puro o aleación de elementos metálicos (Phipps D.A., 1981; Duffus, 2002, p.795).

Sin embargo, autores como Durán Cuevas (2010) y Susana Zubillaga (2012) definen como metal pesado a aquellos elementos químicos con una densidad mayor a  $5 \text{ g/cm}^3$  o cuyo número atómico sea superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos) y en altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicas para las plantas, animales y personas; en la presente investigación consideraremos el término “metal pesado” para hacer referencia a los elementos evaluados en el suelo (aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc).

**Figura 2-4**

*Ubicación de los metales y metaloides en la tabla periódica*



Nota. Volke Sepúlveda *et al.* (2005).

El concepto de metales pesados puede presentar cierta similitud con el de “elemento traza”, “macroelemento” y “oligoelemento” (Durán Cuevas, 2012); sin embargo, el primero se define como aquel elemento presente en los suelos y las plantas en concentraciones relativamente bajas (Agudo Juan, 2015) y no necesariamente pudiendo ser esencial para el desarrollo de los seres vivos; como el caso del As y Se (Susana Zubillaga, 2012; Agudo Juan, 2015).

Respecto a los microelementos, algunos son indispensables en el desarrollo de los procesos biológicos (oligoelementos) permitiendo completar su ciclo vital; siendo el caso del Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn (Durán Cuevas, 2012) y al pasar por cierto umbral se vuelven tóxicos (Sánchez Bascones, 2003; Durán Cuevas, 2012).

Por último, existen elementos sin funciones biológicas conocidas y su presencia en pequeñas cantidades en los seres vivos produciría disfunciones en sus organismos; además de la capacidad de bioacumularse, como el caso del Cd, Hg, Pb, Sn y Bi (López Arias & Rodríguez Martín, 2005; Durán Cuevas, 2010; Agudo Juan, 2015)

**Tabla 2-2**

*Micronutrientes y macronutrientes esenciales en los organismos vivos*

<b>Clasificación</b>	<b>Elementos</b>
Elementos que son micronutrientes esenciales (pocos mg o µg/día)	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Otros micronutrientes esenciales	F, I, Si
Macronutrientes (100mg o más por día)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Elementos no esenciales	As, Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti.

Nota. Modificado de Galán y Romero (2008); Agudo Juan (2015).

El origen de los metales pesados se da por dos (02) tipos: natural y antropogénico (Durán Cuevas, 2010; Otones Miguelañez, 2014; Ponce Bravo, 2018):

### **2.2.1. Fuentes naturales**

Los metales pesados provienen por aportes naturales a partir de los procesos edafogénicos y de meteorización del material parental (Durán Cuevas, 2010), los cuales liberan progresivamente los distintos elementos contenidos en los minerales de las rocas (Porta Casanellas *et al.*, 2003) y se concentran en el suelo (Agudo Juan, 2015). Su distribución espacial en el suelo permite de cierta forma determinar la concentración natural o niveles de fondo de estos elementos (Otones Miguelañez, 2014). Además, en la corteza terrestre existe una gran variabilidad de rocas y minerales donde el 95% las conforman las rocas ígneas y metamórficas (Mitchell, 1964; Agudo Juan, 2015), constituyéndose principalmente como fuentes naturales de los metales pesados en el suelo (Ross, 1994; Agudo Juan, 2015).

Los procesos geoquímicos en condiciones normales determinan el contenido de metales pesados en el suelo (Roca, 2004; Durán Cuevas, 2010) y el efecto sobre el

material parental varía de acuerdo a su composición. Tal es el caso de las rocas básicas y ultramáficas, las cuales aportan una gran cantidad de metales pesados como el Co, Ni, Zn y Cr por reemplazamientos isomórficos de Fe y Mg en los minerales ferromagnesianos, posterior a su solidificación a partir del magma (Kidd *et al.*, 2007; Durán Cuevas, 2010). Por el contrario, las rocas ácidas que poseen un proceso de solidificación más lento que las rocas básicas, tienden a contener grandes cantidades de Pb, así como la capacidad de sustituir al K en varios minerales (Kidd *et al.*, 2007; Durán Cuevas, 2010). El contenido de metales pesados presenta un descenso gradual a partir del tipo de roca a la que esté asociada; es decir, desde las rocas ígneas ultrabásicas, ígneas básicas, ígneas ácidas y rocas sedimentarias (Agudo Juan, 2015).

**Tabla 2-3**

*Concentración ( $\mu\text{g/g}$ ) de metales pesados de acuerdo al tipo de roca*

Metales pesados	Rocas ígneas			Rocas sedimentarias		
	Ultrabásicas	Básicas	Granito	Calcáreas	Areniscas	Esquistos
Cd	0,12	0,13 – 0,2	0,09 – 0,2	0,028 – 0,1	0,5	0,2
Co	110 - 150	35 - 50	1	01 - 4	0,3	19 - 20
Cr	2000 - 2980	200	4	10 - 11	35	90 - 100
Cu	10 - 42	90 - 100	10 – 13	5,5 - 15	30	39 - 50
Hg	0,004	0,01 – 0,08	0,08	0,05 – 0,16	0,03 – 0,29	18 – 0,5
Mn	1040 - 1300	1500 - 2200	400 - 500	620 - 1100	4 - 60	850
Ni	2000	150	0,5	7 - 12	2 - 9	68 - 70
Pb	0,1 – 14,3	3 - 5	20 - 40	5,7 – 7,8	8 - 10	20 - 23
Sn	0,5	1 – 1,5	3 – 3,5	0,5 - 4	0,5	4 - 6
Zn	50 - 58	100	40 - 52	20 - 25	16 - 30	100 - 120

Nota. Ross (1994); Agudo Juan (2015).

**Tabla 2-4***Metales pesados asociados a minerales primarios en el suelo*

<b>Minerales sulfurosos (primarios)</b>	<b>Metales pesados asociados</b>
Galena (PbS)	Ag, Au, As, Ba, Bi, Cr, Hg y Ni
Esfarelita (ZnS)	Sb, Sn, Te y Tl
Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	Ag, Co, Ge, In, Mn, Ni, Se y Sn
Pirita (FeS <sub>2</sub> )	Ag, As, Au, Co, Cu, Ni, Pb, Ti y Tl
Arsenopirita (FeAsS)	Co, Mn y Ni

Nota. Bautista Z. (1999); Ponce Bravo (2018).

**Tabla 2-5***Metales pesados asociados a minerales secundarios en el suelo*

<b>Minerales secundarios</b>	<b>Metales pesados asociados</b>
Óxidos de hierro (Fe <sub>x</sub> O <sub>y</sub> )	V, Mn, Cu, Zn y Mo
Óxidos de manganeso (Mn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> )	Fe, Co, Ni, Zn y Pb
Carbonatos de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	V, Mn, Fe, Co, Cd, y Pb
Esmectitas	Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co y Ni
Vermiculitas	Ti, Mn y Fe

Nota. Bautista Z. (1999); Ponce Bravo (2018).

**2.2.2. Fuentes antropogénicas**

Están asociadas específicamente a las actividades humanas, las cuales han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en el suelo (Durán Cuevas, 2010) cuyos efectos son perjudiciales en el ambiente. Según Bautista Z. (1999) y Ponce Bravo (2018), estas fuentes pueden ser puntuales (fijas) y no puntuales (móviles); no obstante, las principales actividades que generan un mayor impacto son las actividades mineras y de fundición, actividades industriales, prácticas agrícolas con

productos químicos (Durán Cuevas, 2010) y los procesos de eliminación de residuos (Ross, 1994; Otones Miguelañez, 2014).

**Tabla 2-6**

*Fuentes antrópicas de metales pesados en el suelo*

<b>Fuentes antrópicas</b>	<b>Metales pesados</b>
Lodos residuales	Cd, Pb, As, Cr, Zn, Co, B, Ba, Be, Br, Ce, Cu, Mn, Co, Ge, Hg, Mo, Ni, Rb, Sn , Sr, V y Zr
Riego	Cd, Pb, Se
Fundidoras	Pb, Cd, Sb, As, Se, In y Hg
Plaguicidas	Pb, As, Hg, Br, Cu, V y Zn
Fertilizantes	Cd, Pb, As, B, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Sr, Te, U, V, Zn, y Zr
Minas	Pb, Cd, As, Hg
Abonos	As, Se, Ba, Br, Co, Cr, Cu, F, Ge, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn y Zr
Automóviles	Pb
Pinturas	Pb, Cd
Carbonatos	As, B, Ba, Ce, Cr, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V, Zn y Zr
Combustión de carbón	As, Se, Sb, Pb

Nota. Bautista Z. (1999); Ponce Bravo (2018).

### **2.2.3. Contaminación del suelo por metales pesados**

Según Galán Huertos & Romero Baena (2008), las concentraciones excesivas de ciertos elementos químicos compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación la cual se denomina contaminación; la cual implica cualquier modificación negativa sobre la calidad del suelo; asimismo, Porta Casanellas *et al.*, (2003) define a la contaminación como el aporte de un compuesto o elemento químico desde el exterior, provocando un aumento respecto a la concentración inicial y generando efectos desfavorables.

No obstante, para definir un suelo contaminado es importante partir de un nivel base o *background* el cual viene a ser la concentración natural de un determinado elemento (metal pesado) presente en el suelo que no provenga de las actividades antrópicas, sino de la composición del material parental y de los procesos de mineralización que conlleva a la formación del suelo (Durán Cuevas, 2010).

Si bien es cierto que las concentraciones de algunos metales pesados en el suelo son beneficiosas para los seres vivos, otras pueden ser perjudiciales al pasar cierto umbral; toda vez que no pueden ser degradados y/o tienen una lenta y difícil eliminación (Durán Cuevas, 2010). Esto se traduce a una afección a los ciclos biogeoquímicos de los organismos, produciendo daños a los órganos vitales e incluso la muerte de los mismos (Susana Zubillaga, 2012).

Como se mencionó anteriormente respecto a las diversas fuentes antrópicas de los metales pesados en el suelo, la minería está relacionada con el nivel de metales residuales sin valor económico que contaminan el suelo, ya sea: a) físicamente, afectando la textura, estructura, estabilidad y disponibilidad de agua; b) químicamente, con alteración del pH, déficit de nutrientes y exceso de metales tóxicos, y también c) biológicamente, mediante el descenso o eliminación de microorganismos del suelo y de los organismos mayores (Williamson *et al.*, 1982). Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, 2012) las principales amenazas del suelo son acidificación, compactación, contaminación, desertización, deslizamientos de tierra, erosión, pérdida de materia orgánica, pérdida de biodiversidad, salinización y sellado.

Las actividades mineras en el Perú datan desde la época del incanato y aumentaron durante el virreinato (Fisher, 1979); asimismo estas actividades siguieron

desarrollándose hasta la actualidad donde su desarrollo y avance tecnológico a masificado la extracción de minerales, incrementándose de la misma forma los impactos negativos hacia el ambiente que han contribuido de manera importante a la pérdida de los ecosistemas (Cluis, 2004; Durán Cuevas, 2010). Además, hasta antes de 1990 cuando se promulgó el código del medio ambiente en Perú, la legislación relativa a asuntos ambientales era escasa; generando como consecuencia los problemas de contaminación hacia la calidad del aire, agua y suelo; afectando también a la salud de las comunidades (Chávez Rodríguez, 2014). La declaración de un sitio contaminado va a depender del nivel de exigencia según la normativa vigente para una misma concentración de contaminante; siendo esta legislación más desarrollada de un país a otro (Porta Casanellas *et al.*, 2003).

#### **2.2.4. Dinámica y biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo**

Cuando un metal pesado se incorpora al suelo, se produce una serie de procesos (físicos, químicos y/o biológicos) que condicionan los efectos que puede ocasionar, así como verse influenciado por los procesos de transformación, retención y transporte en el suelo (Avelino Carhuaricra, 2013). Asimismo, para determinar el grado de contaminación que puede presentar un suelo, se debe considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia del elemento (Calvo de Anta, 1997; Avelino Carhuaricra, 2013).

##### **2.2.4.1. Dinámica de los metales pesados**

Existen varias formas o vías por las cuales los metales pesados pueden moverse, según García y Dorronsoro (2005); Durán Cuevas (2010) y Avelino Carhuaricra (2013) estos metales pueden seguir cuatro (04) diferentes vías: retenidos en el suelo

(disueltos en la solución o fijados por los procesos de adsorción, complejación y precipitación); absorción por las plantas e incorporación a la cadena trófica; volatilización hacia la atmósfera y movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas.

Asimismo, López Arias & Rodríguez Martín (2005), citado por Durán Cuevas (2010) Avelino Carhuaricra (2013), indican que los metales pesados presentan seis (06) comportamientos principales asociados a los constituyentes del suelo: retenidos en las redes cristalinas de los minerales primarios (no alterados, heredados de la roca madre) y de constituyentes secundarios (minerales procedentes de la alteración edafogénica); adsorbidos en las fases de hidróxido de hierro, aluminio y manganeso; ligados a los restos vegetales y animales (que son liberado a medida que se van mineralizando estos residuos); incluidos en las macromoléculas orgánicas; en forma intercambiable (ion) asociados a la superficie de las arcillas minerales y a la materia orgánica; y en forma soluble, coloide o de partícula en la solución del suelo.

#### **2.2.4.2. Biodisponibilidad de los metales pesados**

Según Porta Casanellas *et al.* (2003) cuando una especie química (para este caso metales pesados) presente en el suelo puede transferirse al interior de un organismo vivo, se denomina biodisponibilidad; la cual provocará efectos fisiológicos desfavorables. Esta aptitud de transferencia de metales pesados está determinada por la forma, número de cargas y la energía de retención de los metales pesados; que además son influenciados por factores externos (pH, temperatura, entre otros) y asociados al uso del suelo (Durán Cuevas, 2010).

**Tabla 2-7***Disponibilidad relativa de metales pesados en el suelo para las plantas*

<b>Forma de los metales en el suelo</b>	<b>Movilidad – disponibilidad relativa</b>
Iones simples o complejos en solución	Fácil
Cationes de cambio	Media
Metales quelatados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metales adsorbidos sobre partículas del suelo	Menos disponibles
Compuestos metálicos precipitados sobre partículas del suelo	Disponibles cuando se disuelve el compuesto
Metales asociados o incorporados a una matriz biológica	Disponibles cuando se descompone
Metales asociados o formando parte de la estructura de un mineral	Disponibles cuando se meteoriza/destruye el mineral

Nota. Martínez Sánchez & Pérez Sirvent (2007); Durán Cuevas (2010).

Tal como se indicó párrafos anteriores, las propiedades fisicoquímicas del suelo influyen en la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados, pudiendo encontrarse en la fracción soluble en agua, en posiciones intercambiables de arcillas y materia orgánica, unidos a óxidos, carbonatos, sulfatos y fosfatos, complejados en materia orgánica y dentro de las redes cristalinas (Agudo Juan, 2015). Dentro de los factores que influyen en la acumulación y biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, se tiene los siguientes:

- **pH**

El pH es uno de los factores más importantes que influye en la movilidad de los cationes, donde la mayor movilidad se da en rangos menores de pH y su disponibilidad

a pH ácidos (García y Dorronsoro, 2005; Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013).

En medios alcalinos pueden pasar nuevamente a la solución como hidroxicomplejos (López Arias & Rodríguez Martín, 2005; Durán Cuevas, 2010), así como algunos metales como el Mo y Se dónde se encuentran más disponibles a pH básicos (García y Dorronsoro, 2005; Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013). El pH es uno de los factores que más influye en la movilidad de los metales, ya que favorece los procesos de adsorción-desorción, precipitación-disolución y complejación (Agudo Juan, 2015).

- **Potencial Redox**

El potencial Redox influye indirectamente sobre la movilidad de los metales, donde estos son más solubles en medios reducidos; además es responsable del cambio directo en la valencia de estos metales pesados (Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013). Las condiciones oxidantes pueden ocasionar la oxidación y disolución de sulfuros y precipitados insolubles; asimismo, las condiciones reductoras (potenciales Redox decrecientes y negativos) pueden producir la disolución de oxihidróxidos y la liberación al medio de los elementos traza adsorbidos y precipitados sobre ellos (Agudo Juan, 2015).

**Tabla 2-8**

*Movilidad de los metales pesados en función al Eh y pH del suelo*

Movilidad	Medio			
	Oxidante	Acido	Neutro y Alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	-	-

Movilidad	Medio			
	Oxidante	Acido	Neutro y Alcalino	Reductor
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	-
Baja	Pb	Pb	Pb	-
Muy Baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Nota. García y Dorronsoro (2005); Agudo Juan (2015).

- **Textura y Estructura del suelo**

Los contenidos de arcillas en un suelo definen la capacidad de retención (adsorción) de los metales pesados, impidiendo su transporte hacia los niveles freáticos (López Arias & Rodríguez Martín, 2005; Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013). Caso contrario se produce en suelos arenosos, donde la infiltración es alta y estos metales pueden llegar a los niveles freáticos.

- **Materia Orgánica**

La materia orgánica influye en gran parte en los procesos de adsorción del suelo, dado que actúa como ligandos en los complejos de intercambio donde se cede electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos; formando así quelatos que migran con facilidad a lo largo del perfil del suelo (Durán Cuevas, 2010). Además, la complejación de la materia es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y bioasimilabilidad de los metales pesados en el suelo (Avelino Carhuaricra, 2013).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Según Agudo Juan (2015) cuanto mayor es la CIC en el suelo mayor es la capacidad de retener metales pesados, dado que este factor se centra en el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa

seca; además está condicionado por la cantidad de arcillas, materia orgánica, óxidos de Fe, Al y Mn (Durán Cuevas, 2010). Principalmente para los iones alcalinos y alcalinotérreos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) los cuales, debido a su tamaño y baja carga, precipitan con mucha dificultad; siendo todo lo contrario con los iones metálicos de transición como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ , que forman fases sólidas como óxidos o aluminosilicatos (Prabhakaran & Cottenie, 1971; Durán Cuevas, 2010).

- **Óxidos e Hidróxidos de Fe y Mn**

Los suelos con altos contenidos de óxidos de Fe y Mn, tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes (especialmente Pb y Cu y en menor grado al Zn, Co, Cr, Mo y Ni), fijarlos e inmovilizarlos; además de encontrarse en el suelo finamente diseminados y muy activos (Durán Cuevas, 2010).

- **Salinidad**

La salinidad influye en el incremento del pH en el suelo, y su aumento puede favorecer a la movilización de los metales pesados a través de los cationes asociados con las sales de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , que pueden reemplazar a los metales pesados en lugares de adsorción; así como los aniones de cloruros, que pueden formar complejos solubles estables con los metales pesados en el suelo, como el caso del Cd, Zn y Hg (Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013).

- **Carbonatos**

La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, los cuales tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos (López Arias & Rodríguez Martín, 2005; Durán Cuevas, 2010; Avelino Carhuaricra, 2013).

### 2.2.5. Toxicidad de los metales pesados

Si bien es cierto que los metales pesados se encuentran en concentraciones heterogéneas en el suelo los cuales no representan un riesgo a los seres vivos, otros por el contrario son conocidos por ser tóxicos a bajas concentraciones, produciendo efectos adversos a la salud de las personas y los organismos vivos; y no solo por su toxicidad, sino también por su movilidad y su disponibilidad en el medio edáfico.

De acuerdo con Otones Miguelañez (2014), diecisiete (17) de estos metales pesados son tóxicos y fácilmente disponibles, de los cuales 10 pueden ser movilizados por la actividad antrópica. Asimismo, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EE.UU. (Environmental Protection Agency – US EPA) incluye trece (13) de estos metales (Agudo Juan, 2015) a la lista de 126 elementos tóxicos elementos tóxicos prioritarios, la cual fue elaborada en 1978 y posteriormente actualizada en 1981(Otones Miguelañez, 2014). Dentro de esta lista podemos identificar algunos elementos priorizados por la US EPA, tal como se detalla en la Tabla 2-9:

**Tabla 2-9**

*Elementos tóxicos de interés*

<b>Elementos muy tóxicos y fácilmente disponibles</b>	<b>Elementos tóxicos en altas concentraciones <sup>a</sup></b>	<b>Contaminantes prioritarios <sup>b</sup></b>
As, Co, Bi, Ni, Pd, Ag, Cd, Pt, Zn, Sn, Se, Cu, Tl, Pb, Te, Hg, Sb	Sb, As, Cd, Cu, Sn, Hg, Ni, Ag, Pb, Tl	Sb, As, Be, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Tl, Zn.

Nota. a Principalmente por causas antropogénicas; b Elementos priorizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA). Otones Miguelañez, 2014; Agudo Juan, 2015.

### **2.3. Niveles de Fondo**

La distribución de los metales pesados en la corteza terrestre obedece tanto a aportes naturales de los minerales presentes en las rocas como antrópicos (Micó Llopis, 2005); es por tanto que se requiere establecer niveles estándar o de referencia que permitan valorar la contaminación del suelo a fin de asegurar la calidad y protección de las funciones agrícolas y ecológicas del mismo (Rueda Saa *et al.*, 2011).

Como primer paso se debe obtener los niveles de fondo o *background*, el cual se define como la concentración natural de un elemento asociado principalmente al material parental y con poca o mínima intervención antropogénica (Rueda Saa *et al.*, 2011) pudiendo variar en los diferentes tipos de suelos según el material originario, los componentes edáficos, la localización geográfica, entre otros (Micó Llopis, 2005).

Los niveles de fondo expresan la concentración natural de sustancias contenidas en los suelos de un área geográfica dada, que constituyen la base para evaluar el impacto del uso del suelo y determinar valores de referencia o intervención; siendo de gran importancia para la toma de decisiones para la gestión y uso del suelo. (Martínez Sánchez & Pérez Sirvent, 2007; Agudo Juan, 2015).

#### **2.3.1. Metodologías para establecer Niveles de Fondo**

Existen algunos métodos estadísticos para determinar estos niveles de fondo, los cuales se obtienen a partir de las concentraciones de los metales pesados en el suelo (Brizuela & Jiménez, 2012); por ejemplo, en el País Vasco se utiliza la media aritmética de los datos, mientras que en Andalucía (España) se utiliza el percentil 90 (p90) (Micó Llopis, 2005). Sin embargo, autores como Holmgren *et al.*, (1993); Ma *et al.*, (1997);

citado por Micó Llopis (2005), sostienen el uso de parámetros estadísticos descriptivos en función de la distribución que sigue las concentraciones de los metales pesados.

Desde un punto de vista estadístico se tiene mayor robustez a la hora de definir estos niveles de fondo, mediante la omisión de los valores discordantes o anómalos que puedan ser originados por errores sistemáticos en la etapa de muestreo, análisis de laboratorio de las muestras, etc. (Diamond *et al.*, 2009). Además, su presencia en el análisis tiende a destruir la normalidad de la serie de datos (Helsel, 2012).

### **Tabla 2-10**

*Parámetros estadísticos descriptivos según su distribución*

<b>Parámetro estadístico descriptivo</b>	<b>Tipo de distribución de los datos</b>
Media Aritmética	Normal
Media Geométrica	Log-Normal
Mediana	No Normal

Nota. Holmgren *et al.* (1993); Ma *et al.* (1997); citado por Micó Llopis (2005).

Hay tener en cuenta que los niveles de fondo describen la distribución de las concentraciones de los diferentes elementos químicos en los suelos de una región que no estén afectados por las actividades antrópicas (OEFA, 2016).

Es por ello que se exige tener en cuenta un valor (cota) estadísticamente robusto para definir estos niveles de fondo; por este motivo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) recomienda el uso del UCL95, el cual viene a ser el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética (MINAM, 2015; US EPA, 2015); el cual garantiza un elevado grado de confianza, para que el valor verdadero del estimador correspondiente a los suelos muestreados sea inferior a la misma (OEFA, 2015). De acuerdo a lo dispuesto por la US EPA (2015)

cuando el conjunto de datos a analizar presenta una distribución Normal, se emplea la siguiente ecuación:

### **Ecuación 2-1**

*Calculo del UCL para una distribución Normal*

$$UCL = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} s / \sqrt{n}$$

Donde:

- UCL:** Límite superior del intervalo de confianza unilateral de la media de “n” datos.
- n:** Tamaño de la muestra.
- $\bar{x}$ :** Media aritmética de la muestra de “n” datos.
- S:** Desviación estándar de la muestra de “n” datos.
- $t_{\alpha, n-1}$ :** Percentil 100(1- $\alpha$ )-ésimo de la distribución t-Student de n-1 grados de libertad.

Cuando el conjunto de datos presenta una distribución Log-Normal, se utiliza la siguiente ecuación para determinar el UCL:

### **Ecuación 2-2**

*Calculo del UCL para una distribución Log-Normal*

$$UCL = \exp(\bar{y} + 0,5s_y^2 + s_y H_{1-\alpha} / \sqrt{n-1})$$

Donde:

- $\bar{y}$ :** Es la media aritmética de la muestra de los datos transformados logarítmicamente.
- $S_y$ :** Desviación estándar de la muestra de “n” datos transformados logarítmicamente.
- $H_{1-\alpha}$ :** Estadístico H propuesto por Land (1975)

Para los datos que se ajustan a una distribución Gamma, se emplea un UCL dependiendo del tamaño de la muestra, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

### Ecuación 2-3

Calculo del UCL para una distribución Gamma, cuando  $n \leq 50$

$$UCL = \frac{2nk\bar{x}}{X_{2nk}^2(\alpha)}$$

### Ecuación 2-4

Calculo del UCL para una distribución Gamma, cuando  $n > 50$

$$UCL = 2nk\bar{x}/X_{2nk}^2(\beta)$$

Donde:

**UCL:** Límite superior del intervalo de confianza unilateral de la media de “n” datos.

**n:** Tamaño de la muestra.

**k:** Parámetro de forma de la distribución Gamma.

$\bar{x}$ : Media aritmética de la muestra de “n” datos.

$X_{2nk}^2$ : Estadístico Chi Cuadrado con 2nk grados de libertad.

$\alpha$ : Nivel de significancia.

$\beta$ : Nivel de significancia ajustado.

## 2.4. Niveles de Referencia

Los niveles de referencian resultan a partir de la determinación de los niveles de fondo de los metales pesados en el suelo poco o nulamente intervenido (Rueda Saa *et al.*, 2011) en función de la variabilidad espacial de las concentraciones y en un ámbito geográfico (Micó Llopis, 2005). Los Niveles de Referencia establecen la concentración máxima del metal pesado permitida en un suelo para considerarlo libre de contaminación (Martínez Martínez, 2009) y que al sobrepasarlo se traduce en un riesgo admisible a la salud humana (Brizuela & Jiménez, 2012).

### 2.4.1. Metodologías para establecer Niveles de Referencia

A lo largo del desarrollo de las investigaciones en materia de contaminación y estudios de calidad del suelo, se han propuesto en varias regiones del mundo diferentes metodologías para establecer los niveles de referencia las cuales han permitido y contribuido con el desarrollo del marco normativo para la prevención de la contaminación por metales pesados en el suelo (Rueda Saa *et al.*, 2011); dentro de las metodologías propuestas, tenemos las siguientes:

#### 2.4.1.1. Métodos estadísticos descriptivos

Para establecer los niveles de referencia, se parte de los valores de nivel de fondo obtenidos previamente, al cual se le incrementa un valor estadístico que refleje la variabilidad de las concentraciones normales en el suelo (Micó Llopis, 2005); la cual se representa por la siguiente ecuación:

#### Ecuación 2-5

*Cálculo de los niveles de referencia por métodos estadísticos descriptivos*

$$NR = \bar{X} + nDE$$

Donde:

**NR:** Nivel de Referencia.

**n:** N° de desviaciones estándar, generalmente es igual a 2 (al 95 %) o 3 (99,7 %) de la población de fondo, según Micó Llopis (2005).

**$\bar{X}$ :** Valor medio del nivel de fondo.

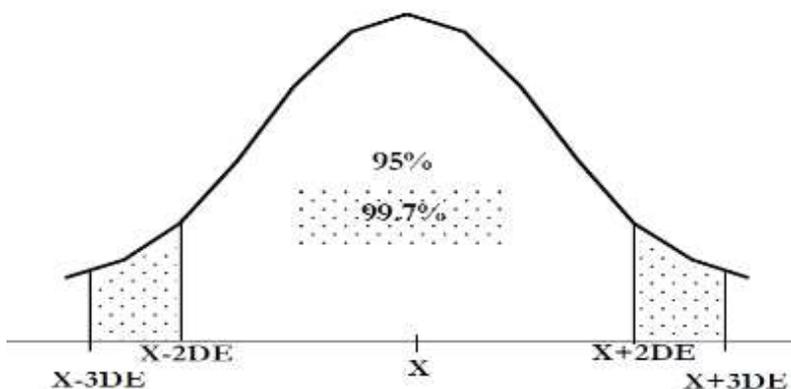
**DE:** Desviación estándar.

Cuando los datos de las concentraciones de los metales pesados presentan una distribución Normal, el 95% de los datos se encontrarán en el intervalo  $\bar{X} \pm 2DE$ ;

mientras que el 99.7% estaría en el intervalo  $\bar{X} \pm 3DE$  (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011; Brizuela & Jiménez, 2012).

### Figura 2-5

*Representación de una población con distribución Normal*



Nota. Miller y Miller (1993); Micó Llopis (2005)

Para aquellas distribuciones No Normales de los datos, la Comunidad de Madrid ha considerado estimar los niveles de referencia a partir de los intercuartiles (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011; Brizuela & Jiménez, 2012).

### Ecuación 2-6

*Ecuación para establecer niveles de referencia para una distribución No Normal*

$$NR = [(3I - 1I) * 1.5]$$

Donde:

**NR:** Nivel de Referencia.

**I:** Intercuartil.

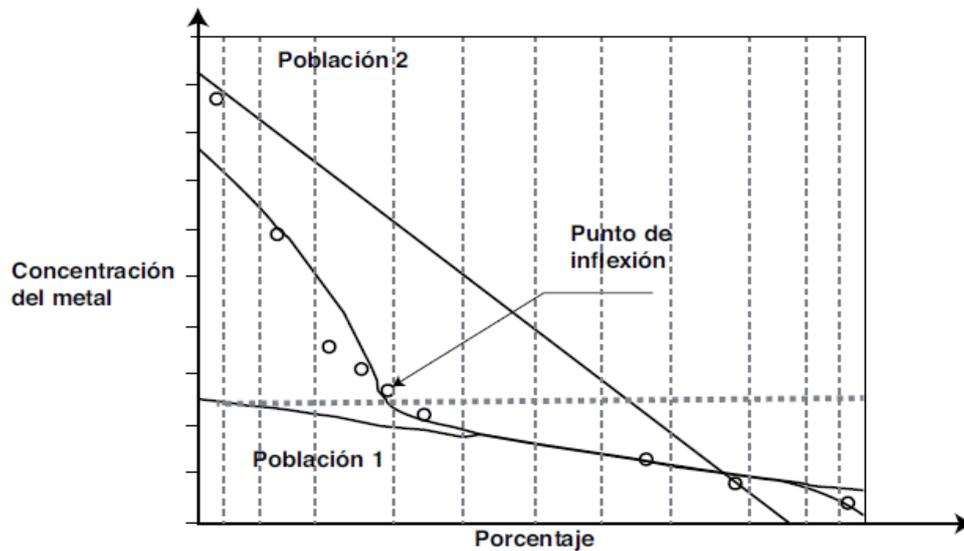
#### 2.4.1.2. Graficas probabilísticas

Este método permite distinguir los valores discordantes de las concentraciones de los metales pesados presentes en el suelo, para la separación de las poblaciones normales

(no contaminadas) de las contaminadas (Rueda Saa *et al.*, 2011) a partir de un punto de inflexión que aparece en la representación gráfica; las cuales han sido aplicadas en geología a fin de detectar anomalías mineralógicas en estudios de prospección (Micó Llopis, 2005). Según Tobías, Bech, & Sánchez (1997) citado por Micó Llopis (2005), una de las ventajas que proporciona este método es que permite establecer los niveles de fondo y los niveles de referencia en áreas donde existan pequeñas zonas con contaminación puntual. Sin embargo, se requiere tamaños de muestra grandes (Rueda Saa *et al.*, 2011) además que se incluye en el análisis los valores discordantes; es decir no se descarta ningún dato (Brizuela & Jiménez, 2012).

**Figura 2-6**

*Gráficas probabilísticas para determinar valores de referencia*



Nota. Adaptado de Rueda Saa *et al.*, (2011).

El método consiste en representar en una escala aritmética o logarítmica la concentración del metal del suelo, en función de la población analizada versus la frecuencia acumulada de los valores; donde el punto de inflexión en la gráfica permite distinguir dos (02) poblaciones: Población 1, que viene a ser la población de fondo; y

Población 2, zonas contaminadas por metales pesados (Rueda Saa *et al.*, 2011) donde se calcula la media aritmética y desviación estándar para cada población y se define el límite superior por la Ecuación 2-5 (Brizuela & Jiménez, 2012). Sin embargo, este punto de inflexión puede generar una incertidumbre en la determinación de los niveles de referencia; además de que su aplicabilidad se ve limitada a poblaciones heterogéneas, de mayor variabilidad y con un elevado número de muestras (Micó Llopis, 2005).

#### **2.4.1.3. Método de Bootstrap**

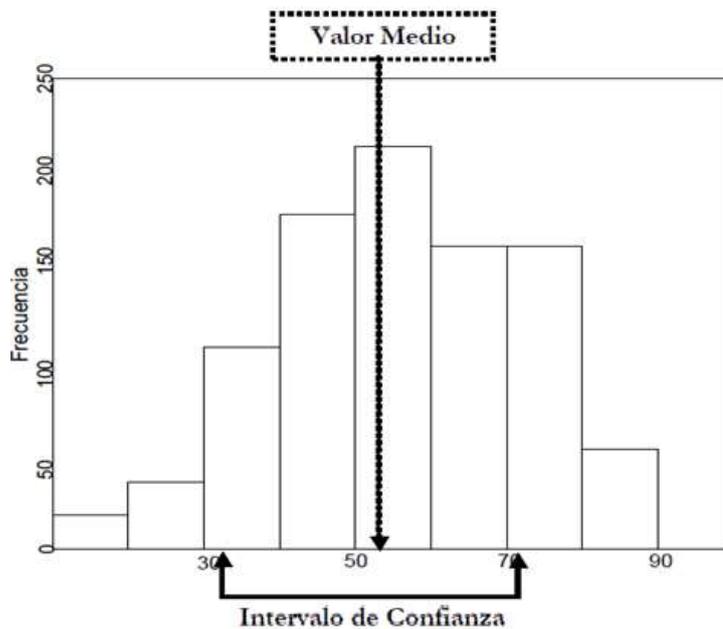
De acuerdo a Micó Llopis (2005), este método consiste en cálculos repetitivos a fin de obtener parámetros estadísticos asociados a una muestra (mediana, valor máximo, etc.), además de comprender un gran número de cálculos repetitivos para estimar la distribución muestral del estadístico. Como parte del análisis, no es prescindible la eliminación de los valores discordantes para conseguir que las poblaciones de los datos sigan una determinada distribución (Rueda Saa *et al.*, 2011).

Asumiendo un caso práctico de 20 puntos de muestreo en la cual se extraen muestras de suelos a analizar, se vuelve a evaluar estos 20 puntos de muestreo nuevamente (re-muestreo) donde se analizan nuevas muestras y así sucesivamente. Además, en cada re-muestreo se obtiene una media aritmética ( $\bar{X}$ ) y una desviación estándar (DE); de manera que a partir de ambos valores puede determinarse el nivel de referencia de acuerdo a la Ecuación 2-5, según el número de re-muestreos que se realicen (Micó Llopis, 2005).

Por último, se determina el nivel de referencia para cada metal de interés a partir del histograma de distribución de los valores de referencia obtenidos previamente, a un nivel de confianza del 95% (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011)

**Figura 2-7**

*Histograma de distribución de los valores  $X+2DE$*



Nota. Micó Llopis (2005).

#### 2.4.1.4. Ecuaciones lineales

Este método consiste en utilizar ecuaciones lineales para definir los valores o niveles de referencia específicos para una determinada área de estudio (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011); donde se relacionan las concentraciones de los metales pesados en el suelo con las propiedades fisicoquímicas del mismo que influyan en la dinámica de estos metales pesados (Micó Llopis, 2005).

Dependiendo el tipo de suelo y su variabilidad, las propiedades fisicoquímicas del suelo cambiarán y serán más predominantes de un lugar a otro; como el caso de Holanda que ha considerado el contenido de materia orgánica y arcilla como variables

dependientes para determinar sus niveles de referencia (Micó Llopis, 2005; Brizuela & Jiménez, 2012). La ecuación lineal que propone este método, presenta las siguientes variables que influyen en la determinación de los niveles de referencia:

### **Ecuación 2-7**

*Ecuación lineal para establecer los niveles de referencia*

$$NR = NF + (a * A) + (b * B) + (c * C) + \dots$$

Donde:

- NR:** Nivel de referencia.
- NF:** Nivel de fondo
- a, b, c:** Coeficientes derivados de las pendientes de las rectas de regresión simple de las propiedades edáficas.
- A, B, C:** Valores medios de las propiedades edáficas.

### **Tabla 2-11**

*Niveles de referencia para metales pesados en el suelo en otros países*

<b>Normativa Internacional</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
Normativa Suiza	-	50	50	200	75	50
IHOBE-País vasco	-	25	45	110	-	40
USEPA-Estados Unidos	0.5	25	100	-	130	50
CETESB-Brasil	-	30	20	60	40	10
Austria	-	100	100	300	100	100
Canadá	-	100	200	400	75	100
Polonia	-	100	100	300	100	100
Japón	-	125	400	250	-	100
Gran Bretaña	-	100	100	300	50	50
Alemania	-	200	1000	600	200	200

<b>Normativa Internacional</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
China	0,43	31,7	37,5	117,7	58,9	-
Alicante – España	0,7	28	28	83	36	31
Comunidad de Madrid	0,84	34	88	109	-	-
Medina del Campo (España)	0,44	9,41	13,78	33,44	16,14	9,81

Nota. Las concentraciones están dadas en mg/kg.  
Adaptado de Rueda Saa *et al.*, (2011); Brizuela & Jiménez (2012).

## **2.5. Marco Legal**

- **Ley General del Ambiente – Ley N° 28611**

### **Artículo 1°.- Derecho y deber fundamental**

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

### **Artículo 113°.- De la calidad ambiental**

Los objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental:

- 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.

- Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas.
  - Recuperar las áreas o zonas degradadas o deterioradas por la contaminación ambiental.
  - Prevenir, controlar y mitigar los riesgos y daños ambientales procedentes de la introducción, uso, comercialización y consumo de bienes, productos, servicios o especies de flora y fauna.
  - Identificar y controlar los factores de riesgo a la calidad del ambiente y sus componentes.
  - Promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas y otros medios para el mejoramiento de la calidad ambiental
- **Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.**

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación**

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables 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.

- **Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM, Aprueban disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.**

**Artículo 2°.- Fases para la aplicación del ECA para Suelo**

La aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo a todo proyecto y/o actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia, se sujeta a un proceso que involucra tres (03) fases claramente diferenciadas según los objetivos que persiguen. Para la ejecución de cada una de estas fases se aplicarán las Guías establecidas en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

Las fases para la aplicación del ECA para Suelo son: Fase de Identificación, Fase de Caracterización y Fase de Remediación.

- **Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, Aprueban Directiva que establece procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA)**

La finalidad de la Directiva es regular, supletoriamente, el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos estándares de calidad ambiental (ECA), cuando no se haya considerado, en la norma que aprueba los ECA o sus normas complementarias, el procedimiento de adecuación a dichos estándares. Este procedimiento busca asegurar la coherencia, la complementariedad y la aplicación eficaz de los instrumentos de gestión ambiental.

- **Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM, Aprueban la Guía de Muestreo de Suelos y la Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación.**

**Artículo 1°.-**

Aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos.

**Artículo 2°.-**

Aprobar la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.

- **Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM, Dictan reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados.**

**Artículo 1.- Presentación y Evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados**

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.

- **Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo**

**Artículo 2°.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio**

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

### **Artículo 3°.- De la superación de los ECA para Suelo**

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente. Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

- **Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM, Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados**

### **Artículo 3°.- Actividades potencialmente contaminantes para el suelo**

Se consideran actividades potencialmente contaminantes para el suelo aquellos proyectos o actividades antrópicas, cuyo desarrollo implica el uso, manejo, almacenamiento, transporte, producción, emisión o disposición de sustancias químicas, materiales o residuos peligrosos, que son capaces de generar la contaminación del suelo y de los componentes ambientales asociados a este, por su toxicidad, movilidad, persistencia, biodegradabilidad, entre otras características de peligrosidad establecidas en las guías técnicas aprobadas por el Ministerio del Ambiente.

## **II. MÉTODO**

### **3.1. Tipo de investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

Observacional, donde el investigador es ajeno a la evolución natural de los eventos;  
Prospectiva, dado que los datos son recogidos a propósito de la investigación;  
Transversal, donde la medición se realizará en una sola ocasión (temporada); y  
Analítica porque el análisis estadístico es bivariado y pone a prueba la hipótesis (Supo, 2012).

#### **3.1.2. Diseño de investigación**

No experimental, toda vez que la investigación se realizará sin la manipulación deliberada de las variables, solo se limitará a observar los fenómenos en su ambiente natural para luego analizarlos (Hernández Sampieri *et al.*,2014).

#### **3.1.3. Nivel de investigación**

Relacional, ya que se la investigación contempla asociaciones entre las variables objeto de estudio y se determinará el grado de correlación entre ellas (Supo, 2012).

### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

Este ítem describe la ubicación del área de estudio, así como los factores físicos principales que caracterizan al sitio; tales como la geología, geomorfología, hidrografía, cobertura, clima, suelos y capacidad de uso mayor. Asimismo, la presente investigación contempló un trabajo de campo durante los días 19, 20 y 21 de octubre de 2018 (una sola temporada) periodo de transición a época húmeda donde se realizó el muestreo de nivel de fondo.

### **3.3. Ubicación**

El área de estudio se sitúa políticamente en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco; comprendiendo la parte alta de la subcuenca del río San Juan, como parte de la cuenca del río Mantaro. Específicamente se ubica al Oeste de la U.E.A. Cerro de Pasco a una altitud de 4200 m y presentando una extensión de 3201,6 Ha. Presenta las coordenadas UTM Datum WGS-84 E:354925 m y N: 8819917 m, así como en las coordenadas geográficas Long: -76° 19' 35,1" y Lat: -10° 40' 5,76" (ver Anexo 1, Mapa N° 01).

### **3.4. Características generales del área de estudio**

#### **3.4.1. Geología**

La ciudad de Cerro de Pasco se sitúa en el límite norte de las Altiplanicies Interandinas las cuales separan la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental, caracterizada por la predominante actividad minera polimetálica, como el caso de las minas de Cerro de Pasco, Colquijirca y Quicay (Rodríguez M. *et al.*, 2011).

Asimismo, se aprecia los Valles Interandinos y las Planicies, estas últimas caracterizadas por presentar materiales clásticos y finos producto de los procesos de erosión fluvio-glaciar de las cordilleras Oriental y Occidental. El área de estudio se caracteriza por presentar estas Planicies y parte del Borde Oeste de la Cordillera Oriental, debido a las notorias elevaciones y afloramientos líticos que los caracteriza.

A nivel estratigráfico, la geología regional a una escala de 1:50 000, permite identificar unidades estratigráficas las cuales van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente (ver Anexo 1, Mapa N° 03), las cuales se detallan en la Tabla 3-1:

**Tabla 3-1**

*Unidades litoestratigráficas del área de estudio*

<b>Era Tema</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos Aluviales (Q-al)	Clastos subredondeados que presentan diferente composición y matriz areno - limosa.
		Pleistoceno	Formación Jeroc (Qpl-je)	Presentan en la matriz rastros de sedimentos volcánicos erosionados.
	Paleógeno	Oligoceno	Formación Calera (Po-ca)	Calizas lacustrinas, tobas, limolitas y arenas de procedencia volcánica, también se presentan niveles de conglomerados con clastos de caliza.
		Eoceno	Formación Pocobamba – M. Shuco (Pe-sh)	Conglomerados con clastos de calizas del Grupo Pucará intercalado con areniscas de color rojo.
			Formación Pocobamba – M. Cacuan (Pe-ca)	Areniscas lutitas rojas, calizas blanquecinas y conglomerados.
				Cuarzo latita (Po-pcl)
Mesozoico	Cretácico	Inferior	F. Farrat (Ki-fa)	Areniscas cuarzosas con laminación sesgada.
			F. Santa-Carhuaz (Ki-sa,ca)	Areniscas y lutitas de color rojo, con algunas intercalaciones de niveles de lutitas bituminosas con restos de plantas y niveles calcáreos.
	Triásico	Superior	Grupo Pucará – Zona Occidental (TsJi-pu)	Dolomitas masivas con chert estratificado.

Nota. Adaptado de Rodríguez M. (2010).

### **3.4.1.1. Triásico Superior – Jurásico Inferior**

#### **A) Grupo Pucará**

Representa una de las unidades estratigráficas más importantes del Perú, ya sea como metalotecto litológico para el emplazamiento de mineralización polimetálica en yacimientos metasomáticos de contacto o del tipo Mississippi Valley, o como canteras de sustancias no metálicas; además este grupo comprende a las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

Según Rodríguez M. (2003), se encuentra dividida en dos zonas: Occidental y Oriental; donde la primera (TsJi-pu) se compone de dolomitas masivas o chert estratificado (han emplazado madrigueras de organismos) con estratos de calizas; y la segunda perteneciente al Grupo Chambará (Ts-ch) está compuesta de calizas mudstone y wackestone (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011) fosilíferas de color gris oscura, olor fétido y de estratos gruesos (Rodríguez M., 2003); no obstante, en el área de estudio se identificó solo las facies occidentales.

### **3.4.1.2. Jurásico Superior - Cretácico Inferior**

#### **B) Grupo Goyllarisquizga**

Se caracteriza por presentar una serie clástica y calcárea que aflora en la cuenca Cretácica Occidental del centro y norte andino del Perú; y comprende las formaciones Chimú, Santa Cruz-Carhuaz y Farrat, de acuerdo a sus similitudes litológicas (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011). Sin embargo, en el área de estudio se identificaron dos (02) de estas formaciones las cuales se describen:

- Formación Farrat (Ki-fa)

Esta formación se caracteriza por presentar areniscas cuarzosas blancoamarillentas con laminación sesgada (intercalaciones) de limos y areniscas calcáreas con restos de plantas (Rodríguez M., 2003; Rodríguez M., 2010).

- Formación Santa – Carhuaz (Ki-sa,ca)

Esta formación subyace a la Formación Farrat, y se define por una secuencia de areniscas y lutitas de color rojo con algunas intercalaciones de niveles de lutitas bituminosas con restos de plantas y niveles calcáreos (Rodríguez M., 2010); sin embargo, no son muy notorias y solo aparecen niveles calcáreos en algunos afloramientos (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

### **3.4.1.3. Paleógeno**

#### **C) Formación Pocobamba**

Esta formación pertenece al Eoceno Inferior y comprende a los miembros Cacuán y Shuco; además puede llegar a alcanzar 300 m de espesor y también descansa en discordancia angular sobre las calizas del Grupo Pucará y Grupo Mitu (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

- Formación Pocobamba – Miembro Cacuán (Pe-ca)

Está compuesto por areniscas, conglomerados con clastos subangulosos a subredondeados de diferente composición e intercalaciones de calizas blanquecinas lacustrinas, además de lutitas rojas con algunos niveles fosilíferos de carofitas (Rodríguez M., 2003; Rodríguez M., 2010; Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

- Formación Pocobamba – Miembro Shuco (Pe-sh)

En los alrededores de Cerro de Pasco, esta formación se compone de conglomerados bastante gruesos con matriz arenolimoso (Rodríguez M., 2003) y con clastos de calizas del Grupo Pucará intercalado con areniscas de color rojo (Rodríguez M., 2010) y escasos lentes de limolitas (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

**D) Formación Calera (Po-ca)**

Esta formación pertenece al Eoceno Superior – Oligoceno y sobreyace a la Formación Pocobamba en leve discordancia angular, y cerca de la mina Colquijirca constituye la roca huésped para la mineralización (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011). A nivel general se compone de calizas blanquecinas y material volcánico de color verde y rojizo redepositado (Rodríguez M., 2003); sin embargo, cerca de Cerro de Pasco está esta formación presenta conglomerados de clastos angulosos provenientes del Grupo Pucará e intercalados con limos, lutitas y niveles delgados de tobas riolíticas (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

**E) Rocas Intrusivas**

- Cuarzo Latitas (Po-pcl)

Caracterizado por ser un cuerpo subvolcánico (Rodríguez M., 2003).

**3.4.1.4. Cuaternario**

**F) Depósitos aluviales (Q-al)**

Material inconsolidado de clastos subredondeados de diferente composición y matriz arenolimoso (Rodríguez M., 2010) acumulados por la combinación de procesos aluvionales, fluviales y fluvio-glaciario; situados principalmente en las desembocaduras

de las quebradas que conforman la red hidrográfica del lago Junín (Rodríguez M., 2003).

### **G) Formación Jeroc (Qpl-je)**

Pertenece al Plioceno y se compone de gravas o conglomerados poco diagenizados con clastos subredondeados de calizas y volcánicos envueltos en una matriz arenoconglomerádica (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

#### **3.4.2. Geomorfología**

A nivel regional, el área de estudio está comprendida por dos (02) unidades: la Altiplanicie Andina de tipo ondulada o disectada que estructuralmente constituye el Geosinclinal Andino, cuya depresión está conformada por materiales clásticos y finos que provienen de las cordilleras Oriental y Occidental como producto de los procesos de erosión fluvio-glaciar (GEMESA, 2010) y la altitud promedio oscila entre los 4 000 a 4 200 msnm (Rodríguez M. *et al.*, 2011); y el Borde Oeste de la Cordillera Oriental (Altas Cumbres) la cual es una estructura montañosa cuyo relieve está formado por valles glaciares en forma de “U” con presencia de lagunas morrénicas y ríos anastomosados de poca pendiente que erosionan las rocas calcáreas del Grupo Pucará, secuencias volcánico-sedimentarias del Grupo Mitu y secuencias arenosas del grupo Ambo (Rodríguez M. *et al.*, 2011). A nivel local, se han identificado las siguientes unidades geomorfológicas (ver Anexo 1, Mapa N° 04) en el área de estudio.

##### **3.4.2.1. Fondo de valle periglacial**

Esta formación comprende a los depósitos aluviales y fluvio-glaciares (Q-al) con una pendiente entre 0 a 8% y se caracteriza por presentar fondos planos y laderas

escarpadas, que en ciertos casos pueden indicar un límite de valle; donde pueden darse aumentos bruscos de pendientes.

#### **3.4.2.2. Colina suave altiplánica**

Se caracteriza por presentar pendientes entre 0 a 4% propias de la Altiplanicie Andina, donde se visualizan cerros semicirculares y lomas con pendientes suaves y redondeadas; además, se caracteriza por presentar gravas o conglomerados con clastos subredondeados de calizas y volcánicos envueltos en una matriz arenoconglomerádica (Rodríguez M. *et al.*, 2011).

#### **3.4.2.3. Colina empinada altiplánica**

Esta formación está comprendida como parte de la Altiplanicie Andina la cual presenta cerros semicirculares y lomas con pendientes suaves y redondeadas con menos de 200 m de altura (Rodríguez M. *et al.*, 2011). A nivel geológico se caracteriza por presentar areniscas cuarzosas con laminación sesgada pertenecientes a la formación Farrat (Kifa) del Grupo Goyllarisquizga.

#### **3.4.2.4. Ladera de montaña moderadamente empinada**

Ubicada en el sector norte del área de estudio y con pendientes que oscilan entre 4 a 50 % y forman parte de la transición entre la Altiplanicie Andina y el Borde Oeste de la Cordillera Oriental, presenciándose los cambios abruptos de pendiente y afloramientos rocosos en las laderas, características de las Formaciones Jeroc (Qpl-je), Formación Pocobamba – Miembro Cacuán (Pe-ca) y Formación Pocobamba – Miembro Shuco (Pe-sh) (Rodríguez M. *et al.*, 2011).

#### **3.4.2.5. Ladera de montaña empinada a muy empinada**

Corresponde a formaciones montañosas que forman parte del Borde Oeste de la Cordillera Oriental, donde empieza un cambio brusco de pendiente que oscila entre los 15 a 75 %. Esta geoforma comprende algunas unidades geológicas del Grupo Goyllarisquizga, como las formaciones Farrat (Ki-fa) y Santa-Carhuaz (Ki-sa-ca); así como del Grupo Pucará, que comprende dolomitas masivas estratificados con estratos de calizas (Rodríguez M. *et al.*, 2011).

#### **3.4.3. Hidrografía**

El área de estudio se sitúa dentro de la subcuenca del río San Juan, específicamente en la unión de los ríos Macairumi y Alcacocha que dan origen a este cuerpo de agua, cuyas aguas provienen de las lagunas Gorgorin y Alcacohca respectivamente; además de recibir aportes de diversos tributarios a lo largo de su recorrido por el margen derecho los ríos Pacarpan, Chumpucancha, Quicay, Huaraupampa, Gashan, Racurragra, Blanco, Racracancha, Acucocha; y por su margen izquierdo por los ríos Pichacancha, Culcahuain, Andacancha (GEMESA, 2010).

La subcuenca del río San Juan presenta una extensión de 1 171 km<sup>2</sup> y a una altitud de 4 190 m, donde el río del mismo nombre se desplaza con un caudal promedio de 10 m<sup>3</sup>/s y una longitud de 36 km en dirección Sureste hasta la laguna Junín (o Chinchaycocha) el cual constituye la naciente del río Mantaro (GEMESA, 2010); además limita al Este con la cuenca del río Perene; por el Norte con la cuenca del Alto Huallaga; por el Oeste con la cuenca del río Huaura y por el Sur con el río Mantaro (ver Anexo 1, Mapa N° 05).

#### **3.4.4. Cobertura vegetal**

Considerando la información del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del Ministerio del Ambiente (2015), el área de estudio se caracteriza por presentar dos (02) tipos de cobertura vegetal: Pajonal andino (Pj) y Bofedales (Bo), los cuales se detallan a continuación (ver Anexo 1, Mapa N° 06).

##### **3.4.4.1. Pajonal andino (Pj)**

El pajonal altoandino o puna altoandina húmeda, contiene a las comunidades vegetales que constituyen el paisaje natural del piso altoandino de la Puna Húmeda (GEMESA, 2010); específicamente por herbazales en la franja altitudinal de la cordillera de los Andes, entre los 3 800 y 4 800 m.s.n.m. que se desarrollan sobre terrenos casi planos como en las altiplanicies empinados y escarpados (MINAM, 2015). Esta unidad se caracteriza por integrar tres (03) subunidades: pajonales (hierbas hasta los 80 cm de alto), césped (hierbas de porte bajo de 15 cm de alto) y tolar (arbustos hasta 1.2 m de alto).

##### **3.4.4.2. Bofedales (Bo)**

Se caracterizan por ser ecosistemas hidromórficos que se distribuyen en la región altoandina a partir de los 3 800 m.s.n.m., ubicándose en los fondos de valle fluvio-glacial, planicies lacustres, terrazas fluviales entre otros; donde la vegetación herbácea es compacta con porte almohadillado y las especies representativas son *Distichia muscoides* (Juncaceae), *Plantago rigida* (Plantaginaceae), *Alchemilla pinnata* familia (Rosaceae), entre otros (MINAM, 2015).

### **3.4.5. Clima**

El clima del área de estudio se ve influenciado principalmente por la altitud y la topografía accidentada. Considerando la clasificación climática de Thornthwaite, el área de estudio presenta un clima de tipo B(o,i)D' el cual se caracteriza por ser lluvioso - semi frígido; la cual se realizó con la información proporcionada por la estación meteorológica Cerro de Pasco (CESEL S.A., 2012).

La precipitación media anual es de 928,1 mm, las cuales se dan en mayor intensidad en los meses de junio a agosto. Respecto a la temperatura, se tiene valores mínimos de -3,4 °C (entre mayo y setiembre) y valores máximos de 13 °C (noviembre) con un promedio mensual de 10,5 °C (CESEL S.A., 2012). La evaporación media mensual fluctúa entre 64 mm y 79,44 mm, donde las máximas medias mensuales pueden llegar a tener valores de 155 mm, mientras que la mínima media mensual desciende hasta 32 mm. La humedad relativa promedio mensual es de 74,19 %, donde la máxima media mensual llega a 96,93 % y la mínima media mensual corresponden a 21,45 %. Por último, los vientos predominantes tienen una dirección norte y noreste con velocidades de 10 m/s (GEMESA, 2010; CESEL S.A., 2012).

### **3.4.6. Suelos**

Teniendo en cuenta el Mapa de Suelos del Perú (INRENA, 1996) en el área de estudio predomina la asociación Leptosol dístico - Andosol vítrico (LPd-ANz), donde los Leptosoles dísticos se caracterizan por ser suelos superficiales situados en relieves abruptos, conformado por materiales de diversa naturaleza donde predominan perfiles de tipo AC y ACR (siendo el horizonte A delgado y con una reacción ácida). Respecto a los Andosoles vítricos, vienen a ser suelos profundos por presentar perfiles AC o

ABC, donde el horizonte de diagnóstico (*topsoil* orgánico hasta los 30 cm de profundidad) es un epipedón móllico de coloración oscura y el horizonte C es estratificado debido a los diversos grados de descomposición; además de tener una textura gruesa (franco - arenosa) y pH entre 6 a 7 (GEMESA, 2010) (ver Anexo 1, Mapa N° 07). Complementariamente con los trabajos realizados en la etapa de muestreo, los suelos presentaron una coloración variable de tipo 5YR 6/6 (amarillo rojizo), 7.5YR 4/6 (marrón oscuro), 2.5YR 4/3 (marrón rojizo) y 10R 3/1 (gris rojizo oscuro) este último ubicado en aquellas laderas de alta presencia de materia orgánica (ver Anexo 2, Fichas de muestreo de suelos).

#### **3.4.7. Capacidad de Uso Mayor de suelos**

Considerando el mapa de capacidad de uso mayor de Tierras de ONERN, 1981; el área de estudio presenta las siguientes unidades (ver Anexo 1, Mapa N° 08):

##### **3.4.7.1. Tierras aptas para pastos (P)**

Son tierras que no presentan características edáficas ni ecológicas para el desarrollo de cultivos en limpio, pero si permiten su uso continuo para el pastoreo de tipo extensivo.

Se identificaron dos (2) clases:

###### **3.4.7.1.1. Clase P1, calidad agrológica alta**

Tierras de calidad agrícola alta con ciertas limitaciones para el crecimiento de pasturas naturales y cultivadas, requieren practicas sencillas de manejo de suelos y pastos. Se identificó la Subclase P1c, la cual se sitúa en las zonas colinosas suaves de la altiplanicie, con limitaciones de clima relacionadas con las bajas temperaturas. Asimismo, se presenta una sub clase agrupada (P1c-X) a tierras de protección la cual involucra la mayoría de los afloramientos líticos del área de estudio.

### 3.4.7.1.2. Clase P2, calidad agrológica media

Tierras de calidad agrícola media, pudiendo ser apropiadas para el desarrollo de pasturas, pero de forma limitada; las cuales requieren practicas intensas para la producción de pastizales. Se identificó la Subclase P2e, la cual se localiza en zonas de montaña de relieves moderadamente empinados, presentando limitaciones por erosión.

### 3.5. Variables

La variable independiente se considera como supuesta causa en una relación entre variables, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). Para fines de la presente investigación, los niveles de referencia (variable dependiente) estará sujetos a la distribución de las concentraciones de los metales pesados (niveles de fondo) y la influencia de las propiedades fisicoquímicas de los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco (variables independientes), tal como se indica en la Tabla N° 3-2:

**Tabla 3-2**

*Variable dependiente de la investigación*

<b>Variab</b> les	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Niveles de Referencia de los metales pesados (Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn)	Concentraciones totales de los metales pesados (Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn)	mg/kg

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 3-3***Variables independientes de la investigación*

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Niveles de Fondo de los metales pesados Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn.	Concentraciones totales de los metales pesados Al, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn.	mg/kg
Propiedades fisicoquímicas del suelo de la ciudad de Cerro de Pasco	Textura del suelo	% (arena, limo, arcilla)
	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	%
	pH	Adimensional
	Conductividad Eléctrica	dS/m
	Materia Orgánica	%
	Carbonatos	%
	Fosforo	ppm
	Potasio	ppm

Nota. Elaboración propia.

**3.6. Población y muestra**

- **Población**

La población la conforma los suelos sin intervención antrópica presentes en la subcuenca del río San Juan la cual pertenece hidrográficamente a la cuenca del Río Mantaro, provincia y departamento de Pasco.

- **Muestra**

Se ha considerado los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco, específicamente de la comunidad campesina San Antonio de Rancas y sus anexos, abarcando un área de estudio de 3 201,6 ha, situado al Este de la U.E.A. Cerro de Pasco y una altitud de

4200 m aproximadamente. Para la toma de muestras de suelo, se empleó un muestreo estadístico aleatorio simple a través de rejillas triangulares donde se tomaron las muestras simples y superficiales (0-30 cm). Asimismo, de cada tres (03) muestras simples se conformó una muestra compuesta, tomándose un total de 21 muestras compuestas de suelos sobre el área de estudio.

### **3.7. Instrumentos**

- **Información y documentación técnica**

En la presente investigación se recopiló y empleó los siguientes documentos técnicos:

- Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, Hoja 22-k. Escala 1:100 000.
- Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, Hoja 22-k. Boletín N° 144 Serie A. Carta Geológica Nacional, Escala 1:50 000.
- Memoria descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) - Cuadrante IV. Escala 1:100 000.
- Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Memoria Descriptiva. Ministerio del Ambiente, 2015.
- Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Ampliación del Tajo Abierto Raúl Rojas”, presentado por Volcan Compañía Minera S.A.A.
- Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Planta Complementaria para el Beneficio de Minerales Oxidados”, presentado por Volcan Compañía Minera S.A.A.

- Informe N° 119-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, Identificación de sitios Contaminados en el ámbito de la subcuenca del río San Juan, 2016, presentado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA.
- ProUCL Version 5.1 User Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.
- ProUCL Version 5.1 Technical Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.
- **Materiales de campo**

En la presente investigación se emplearon lo siguientes materiales de campo:

- 04 espátulas de plástico.
- 04 picos, palas plana y lampas.
- 100 bolsas ziploc.
- 04 lapiceros y plumones tinta indeleble.
- 01 millar de hojas bond A4.
- 02 Cooler.
- 50 pares de guantes de nitrilo.
- 05 litros de agua destilada.
- 04 pizarras acrílica.
- 04 cintas métricas de lona de 50 cm (para medir el perfil edáfico).
- 05 bolsas negras para desechar residuos.

- 04 atomizadores o pulverizadores.
- 42 Etiquetas rotuladas para las muestras de suelo.
- 02 cintas de embalaje.
- 01 cinta film.
- **Equipos**
  - 02 GPS Garmin 64s (ubicación de los puntos de muestreo de suelos).
  - 01 cámara fotográfica Sony 16 mpx (registro fotográfico).
  - 01 celular Huawei P20 Lite (registro fotográfico).
- **Software**
  - Software estadístico IBM SPSS Statistics 25 (tratamiento estadístico de las concentraciones de metales pesados y propiedades fisicoquímicas del suelo).
  - Statistical Software ProUCL 5.1.00 (tratamiento estadístico de los datos y cálculo del UCL95).
  - ArcGIS 10.3 (elaboración de planos del área de estudio).
  - Surfer 15 (elaboración de planos de isoconcentraciones de los metales pesados sobre el área de estudio).

### **3.8. Procedimientos**

#### **3.8.1. Etapa Inicial o Pre-campo**

Primeramente, se revisó la información disponible (estudios previos, mapas temáticos, informes de monitoreo, entre otros); asimismo, se aplicó técnicas SIG para la delimitación preliminar del área de estudio cuyos suelos no estén influenciados por

actividades antrópicas (poca o nulamente intervenidos) teniendo en cuenta la geología, geomorfología, cobertura vegetal, tipo de suelos, así como las fuentes potenciales de contaminación provenientes de las actividades mineras en la ciudad de Cerro de Pasco.

### 3.8.1.1. Plan de muestreo de suelos

Se planificó un total de 21 muestras compuestas de suelo provenientes de 63 muestras simples y superficiales (0 – 30 cm) teniendo en cuenta la presencia de áreas misceláneas y la accesibilidad al sitio; a fin que abarque la mayor extensión del terreno y sean lo más representativas posibles. Cada muestra compuesta será obtenida como resultado del proceso de cuarteo del compósito de las tres (03) muestras simples y superficiales, sobre la cual se analizará el contenido de los metales pesados en un laboratorio debidamente certificado. Asimismo, se tomará una muestra duplicado para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo.

#### Figura 3-1

*Método del cuarteo para la toma de muestras compuestas de suelo*



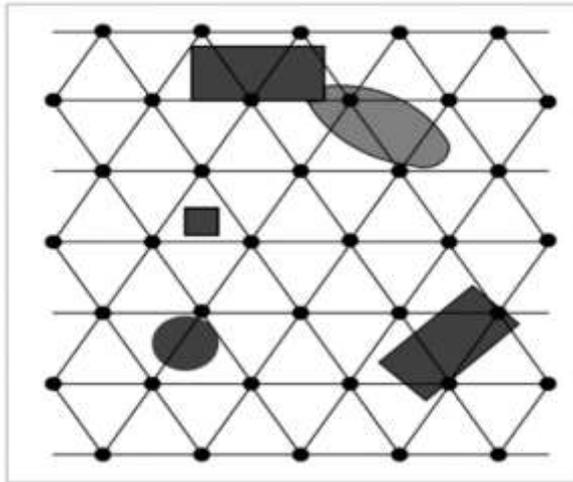
Nota. Extraído de la Guía para el Muestreo de Suelo del MINAM (2014).

El patrón para la toma de muestras contempló los criterios de la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (2014) siguiendo un muestreo a través de rejillas triangulares de 200 m de arista, siendo esta la distancia equidistante entre cada punto de muestreo. Este tipo de patrón se adoptó debido a topografía predominante del área de estudio

(pendientes mayores a 20 %, afloramientos rocosos, etc.). La ubicación de los puntos de muestreo de nivel de fondo se encuentra en el Anexo 1, Mapa N° 02.

### Figura 3-2

*Muestreo de suelos a través de rejillas triangulares*



Nota. Extraído de la Guía para el Muestreo de Suelo del MINAM (2014).

### Figura 3-3

*Áreas misceláneas predominantes en el área de estudio*



**A**



**B**

Nota. Fotografías correspondientes a la geología del área de estudio - Cerro de Pasco (2018).

<sup>A</sup> Fotografía de la Formación Pocobamba - Miembro Cacuán (Pe-ca).

<sup>B</sup> Fotografía de Formación Pocobamba - Miembro Shuco (Pe-sh);

Elaboración propia (Fotografía de Heiner Saldaña).

### **3.8.2. Etapa de Campo**

#### **3.8.2.1. Muestreo de suelo**

Las labores de muestreo en campo se llevaron a cabo los días 19, 20 y 21 de octubre del 2018, considerando la ubicación y el patrón de muestreo de suelos establecidos en gabinete. Para ello se tomó un total de 21 muestras compuestas provenientes de un total de 63 muestras simples y a nivel superficial, siendo estas representativas dentro del área de estudio y a una profundidad entre 0 – 30 cm (ver Anexo 2, Fichas de muestreo de suelos).

Los análisis de los metales pesados fueron realizados en un laboratorio debidamente certificado y acreditado ante INACAL (ver Anexo 4, Certificado de acreditación del laboratorio). Asimismo, se tomó un duplicado con el fin de analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo, cuyos análisis fueron realizados en el laboratorio de análisis de suelos de la facultad de agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ver Anexo 3, Ensayos de laboratorio y cadenas de custodia).

##### **3.8.2.1.1. Procedimientos en la toma de muestras de suelo**

La etapa de muestreo de suelos inició con la identificación de los puntos propuestos en gabinete con ayuda del GPS Garmin 64s, los cuales se definieron en campo teniendo en cuenta las condiciones del terreno (cobertura vegetal, afloramientos líticos, bofedales, pendientes empinadas, entre otros). Sin embargo, en zonas donde las condiciones no eran favorables, se procedió a reubicar dichos puntos de muestreo.

### Figura 3-4

#### *Identificación en campo de los puntos de muestreo de suelo*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

Una vez identificado el punto sobre el terreno, se procedió a realizar el desbroce de la cobertura vegetal (en la mayoría de los puntos de muestreo) empleando palas y picotas sin afectar a estas especies para su posterior inserción; seguido a ello se realizó un sondeo de dimensiones 0.30 m (largo) x 0.30 m (ancho) x 0.30 m (profundidad).

### Figura 3-5

#### *Desbroce de la cobertura vegetal*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

Al finalizar el sondeo con las dimensiones previstas, se realizó el llenado de la pizarra con los datos del punto de muestreo (fecha, hora, código del punto y las coordenadas UTM WGS-84). Posterior a ello, se procedió a la descripción de las características del suelo (humedad, color, materia orgánica, raíces, textura, entre otros) y el llenado de la ficha de muestreo con las características del entorno.

### **Figura 3-6**

#### *Descripción del punto de muestreo*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

Para la toma de la muestra de suelo, se empleó una pala de plástico. Las muestras provenientes de tres (03) puntos de muestreo fueron dispuestas en un recipiente de plástico a fin de realizar el proceso de cuarteo de la muestra; obteniendo una (01) muestra compuesta de suelo de 1 kg aproximadamente para el análisis de metales pesados, así como una (01) muestra duplicado para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo.

### Figura 3-7

*Proceso de cuarteo y toma de la muestra de suelo*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

Las muestras compuestas y sus respectivos duplicados fueron embaladas y rotuladas debidamente con los datos de campo (fecha, hora, código y coordenadas UTM WGS-84). Posterior a ello, se realizó el llenado de la cadena de custodia de las muestras tomadas (ver Anexo 3, Ensayos de laboratorio y cadena de custodia).

### Figura 3-8

*Embalado y rotulado de la muestra de suelo*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

Al finalizar la toma de muestra de suelos, las herramientas y recipientes usados en el proceso de cuartero fueron lavados con agua destilada y empelando guantes de nitrilo, a fin de retirar las trazas o impurezas que puedan contaminar las posteriores muestras de suelo a tomar en los demás puntos de muestreo.

### **Figura 3-9**

*Lavado de herramientas y materiales del muestreo*



Nota. Fotografías de las labores de muestreo de suelos en el área de estudio - Cerro de Pasco (2018).  
Elaboración propia.

### **3.8.3. Etapa de Gabinete**

Las muestras de suelo fueron analizadas en dos (2) laboratorios: el análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizó en el laboratorio suelos de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la concentración de metales pesados se analizó en el laboratorio Envirotest, el cual está debidamente acreditado ante INACAL. Dichos resultados se detallan en el Anexo 3, Ensayos de laboratorio y cadena de custodia.

Los resultados obtenidos tuvieron un tratamiento estadístico a través del software IBM SPSS 25 para conocer la distribución de las concentraciones de aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc presentes en el suelo y determinar los estadísticos

descriptivos, así como el UCL95 (a través del software ProUCL) a fin de obtener los niveles de fondo de estos metales pesados.

Para determinar la influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo, se realizaron pruebas de correlación múltiple, análisis factorial y análisis Cluster a fin de determinar aquellas propiedades edáficas más relevantes en los procesos de adsorción y/o fijación de los metales pesados en el suelo (Micó Llopis, 2005) y con ello determinar las rectas de regresión que definirán los niveles de referencia para estos metales pesados en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el tratamiento estadístico de las concentraciones de los metales pesados, se determinó la distribución espacial de estas concentraciones a través de los programas ArcGIS 10.3 y Surfer 15. Ello permitió plasmar de forma visual y representativa los niveles de referencia para cada uno de los metales pesados evaluados en la presente investigación, obtenidos a través del método de ecuaciones lineales.

### **3.9. Análisis de datos**

En este ítem se describen los métodos estadísticos empleados para el tratamiento y análisis de los datos recopilados en campo; específicamente las concentraciones de los metales pesados y las propiedades fisicoquímicas presentes en el suelo:

#### **3.9.1. Estadística descriptiva**

De acuerdo con Vargas Franco (2007), la estadística descriptiva permite describir significativamente un conjunto de datos mediante la presentación, organización y resumen en indicadores estadísticos; donde las técnicas con las cuales se resume el conjunto de datos son: las medidas de tendencia central, de dispersión, de posición y

el análisis de distribución de frecuencias, pudiendo ser de carácter univariado o multivariado.

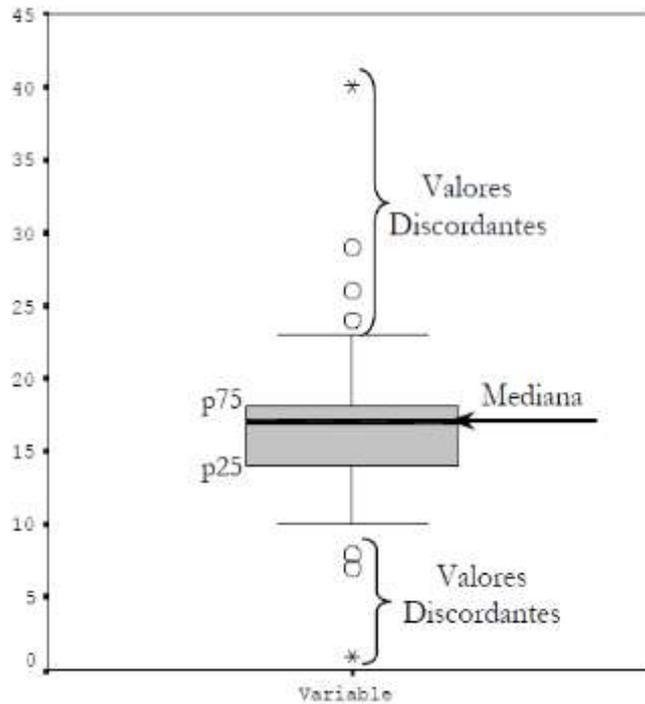
A efectos del presente estudio se han empleado como descriptores poblacionales de la tendencia central a la media aritmética, la media geométrica y la mediana, según la distribución que presenten los datos (Micó Llopis, 2005). De manera complementaria se empleó el UCL95 como estadístico representativo para cada uno de los metales pesados presentes en el suelo, el cual viene a ser el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética (MINAM, 2015; US EPA, 2015), el cual también dependerá del tipo de distribución que presenten los datos.

### **3.9.2. Identificación de valores discordantes**

Si bien es cierto que existen diferentes metodologías que permitan identificar valores discordantes, para fines de la presente investigación se ha empleado el diagrama de cajas y bigotes o *boxplot*. Este diagrama permite identificar valores atípicos, en la cual los valores que superan 1.5 veces el percentil p75 se representarán con un círculo (o); y aquellos valores extremos que superan 3 veces el percentil p75 son representados con un asterisco (\*) en su respectiva gráfica (Micó Llopis, 2005). En la Figura 3-10 se muestra la estructura del *boxplot* y sus elementos que la conforman.

**Figura 3-10**

*Valores discordantes a través del diagrama de cajas y bigotes*



Nota. Micó Llopis (2005).

### **3.9.3. Distribución de la población de los datos**

Para definir si la distribución de los datos a evaluar se ajusta a una distribución normal, se tiene el test de Shapiro-Wilkinson el cual aplica a poblaciones menores a 50 muestras ( $n < 50$ ) y el test de Kolmogorov-Smirnov el cual aplica a poblaciones mayores o iguales a 50 muestras ( $n \geq 50$ ). En ambos test, al obtener un valor de significancia bajo ( $P < 0,05$ ) los datos no presentan una distribución normal (Micó Llopis, 2005).

### **3.9.4. Pruebas de significación**

Estas pruebas de contraste de hipótesis son utilizadas para comparar dos o más poblaciones a fin de determinar si existen diferencias significativas entre ellas (Micó

Llopis, 2005). Se aplica un conjunto de reglas para decidir si se rechaza o no la hipótesis nula ( $H_0$ ), a partir del cálculo del estadístico de prueba que indican el grado de discrepancia entre la  $H_0$  y los datos muestrales resumidos en las estadísticas (Nolberto Sifuentes & Ponce Aruneri, 2008).

#### **3.9.4.1. Test de T Student para muestras relacionadas**

Aplicada para la comparación de las medias de dos poblaciones que presenten una distribución normal, donde un valor de significancia bajo ( $P < 0,05$ ) indica que ambas medias presentan diferencias significativas (Micó Llopis, 2005); es decir, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

#### **3.9.4.2. Prueba Anova**

Empleado para la comparación de dos o más medias de diferentes poblaciones a fin de identificar diferencias significativas entre ellas; donde se requiere previamente contrastar si las varianzas son equivalentes o no, a través de la prueba de Levene (Micó Llopis, 2005). Es importante tener en cuenta que si se obtiene un valor de significancia bajo ( $P < 0,05$ ), se tiene diferencias significativas entre las medias comparadas para las diversas poblaciones evaluadas.

#### **3.9.5. Matriz de correlación**

De acuerdo con Micó Llopis (2005), las correlaciones permiten identificar si existe o no una relación lineal entre dos variables a través de un coeficiente de correlación; teniendo además como requisitos la distribución normal de las variables a analizar, las medias independientes y el muestreo aleatorio.

Asimismo, Guarín Salazar (2002) sostiene que el coeficiente de correlación ( $r$ ) viene a ser un indicador del grado de relación entre las dos variables, el cual oscila en el

intervalo cerrado  $[-1, 1]$ ; es decir, existe una correlación perfecta positiva ( $r = 1$ ) o negativa ( $r = -1$ ) de acuerdo al signo existe, tal como se indica en la Tabla 3-4:

**Tabla 3-4**

*Escala de interpretación del coeficiente de correlación*

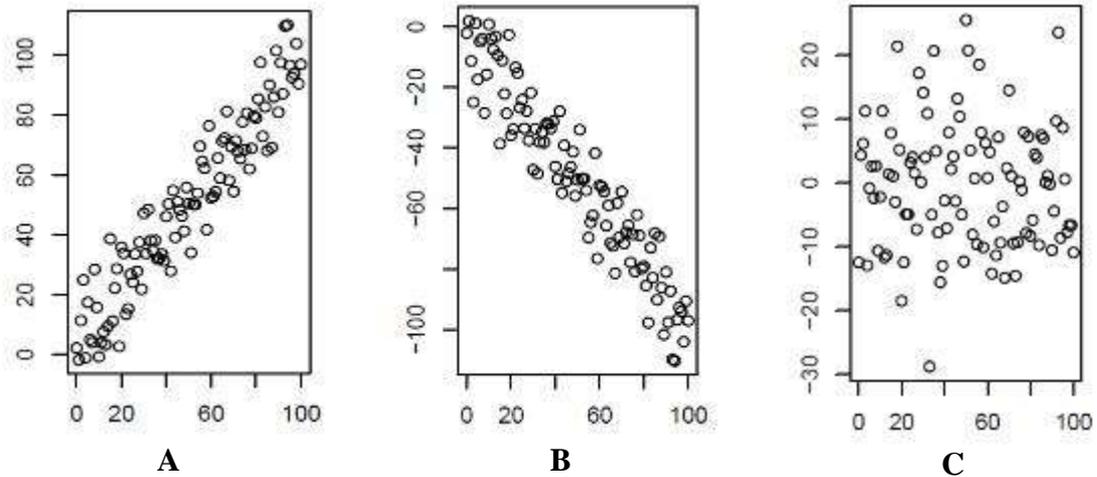
<b>Coefficiente de correlación</b>	<b>Interpretación</b>
$r = \pm 1$	Correlación perfecta
$0.9 \leq r < 1 / -1 < r \leq -0.9$	Correlación excelente
$0.8 \leq r < 0.9 / -0.9 < r \leq -0.8$	Correlación buena
$0.6 \leq r < 0.8 / -0.8 < r \leq -0.6$	Correlación regular
$0.3 \leq r < 0.6 / -0.6 < r \leq -0.3$	Correlación mala
$-0.3 < r < 0.3$	No hay correlación

Nota. Guarín Salazar (2002).

Teniendo en cuenta la distribución de los datos, se emplearon dos tipos de coeficientes de correlación ( $r$ ): el coeficiente de correlación de Pearson, para dos variables con distribución normal y el coeficiente de correlación de Spearman, cuando al menos una de las variables no se ajusta a la normalidad (Micó Llopis, 2005). Existe una correlación si el valor de significancia es bajo ( $P < 0,05$ ); es decir, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Figura 3-11**

*Valores de r y sus implicaciones*



Nota. <sup>A</sup> Correlación lineal positiva fuerte. <sup>B</sup> Correlación lineal negativa fuerte. <sup>C</sup> Ausencia de correlación lineal; extraído de Sáez Castillo (2012).

### **3.9.6. Rectas de regresión lineal**

Las regresiones lineales nos permiten ver la influencia de las variables independientes sobre la variable dependiente, teniendo en cuenta la existencia de una relación lineal entre las variables (Peris Mendoza, 2005). De manera complementaria, Micó Llopis (2005) indica que cuando la variable dependiente se relaciona con una única variable independiente, se tiene una recta de regresión lineal simple de tipo  $Y = a + bX$  y cuando el valor de la variable dependiente se relaciona con más de una variable independiente, estamos haciendo referencia a una recta de regresión lineal múltiple de tipo  $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + (\dots)$ .

Estas rectas presentan el coeficiente de regresión ( $R$ ) que muestra la relación existente entre el valor observado y el valor obtenido en la recta de regresión; y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que indica la proporción de variación de la variable dependiente

que es explicada por el modelo o la recta de regresión, donde a un mayor valor de  $R^2$  significa que el modelo se ajusta mejor a los datos (Micó Llopis, 2005).

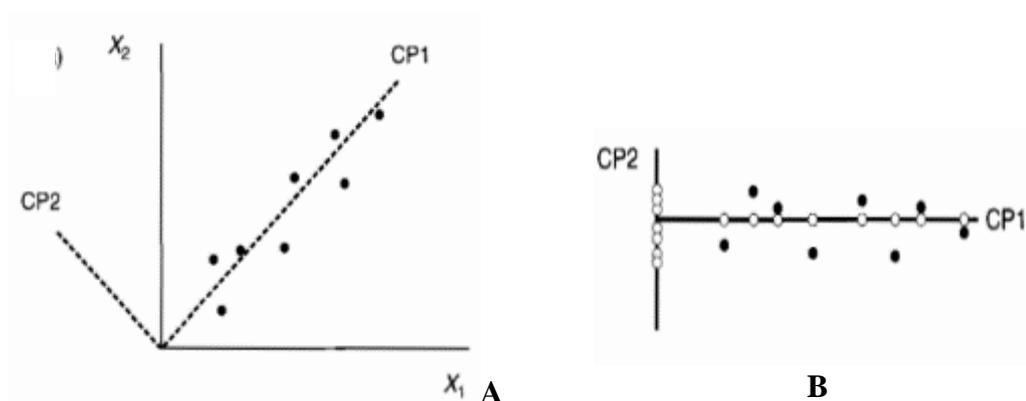
### 3.9.7. Análisis estadístico multivariante

#### 3.9.7.1. Análisis de componentes principales (ACP)

Consiste en agrupar las variables analizadas en un menor número de factores o componentes a fin de reconocer posibles relaciones entre ellas; es decir, las variables analizadas se transforman en nuevos componentes los cuales se basan en las correlaciones establecidas entre las variables iniciales y explique la mayoría de la varianza observada (Micó Llopis, 2005; Peris Mendoza, 2005).

**Figura 3-12**

*Representación gráfica del análisis de componentes principales*



Nota. <sup>A</sup> Diagrama que ilustra las dos componentes principales CP1 y CP2 para las dos variables  $X_1$  y  $X_2$ . <sup>B</sup> Puntos referidos a los ejes de las componentes principales, donde  $\bullet$  indica los puntos de datos y  $\circ$  indica su proyección sobre los ejes; extraído de Miller & Miller (2002).

La elección de los componentes principales se da de tal forma que el primer componente ( $C_1$ ) comprende la mayor proporción de variación que hay en el conjunto de datos, el segundo componente ( $C_2$ ) recoge la siguiente variación, y así sucesivamente (Miller & Miller, 2002; Micó Llopis, 2005); aceptándose aquellos componentes donde los autovalores sean superiores a la unidad (Micó Llopis, 2005).

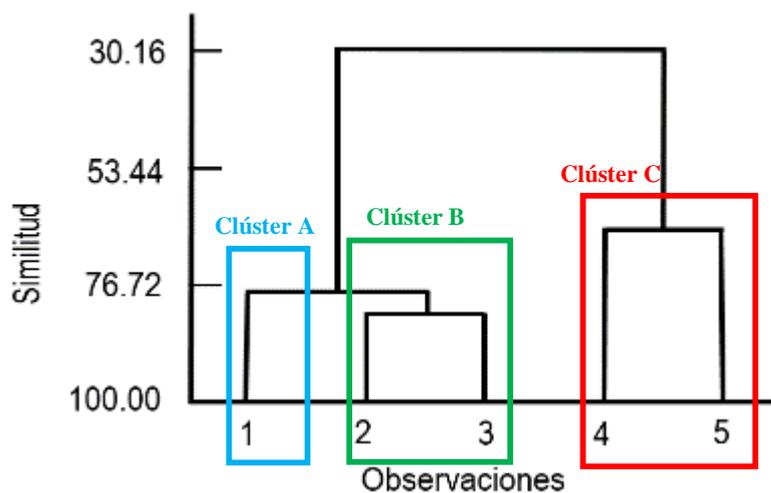
### 3.9.7.2. Análisis cluster

Llamado también análisis de conglomerados, viene a ser un método para dividir un grupo de objetos (variables o muestras) en una serie de clases, de tal manera que los objetos similares se encuentren en la misma clase; es decir, busca objetos que se encuentren próximos en el espacio de las variables (Miller & Miller, 2002).

Para realizar este análisis es necesario calcular la matriz de distancias euclidianas normalizadas entre los objetos y una agrupación jerárquica a través de la vinculación de intergrupos, donde los resultados son expresados en un dendrograma (Micó Llopis, 2005); es decir, una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en el análisis clúster, donde los objetos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre los objetos (de la Fuente Fernández, 2011).

**Figura 3-13**

*Dendrograma y sus etapas en la formación de conglomerados*



Nota. Se puede observar 3 clúster, denominados A, B y C.  
Adaptado de Miller & Miller (2002).

### III. RESULTADOS

#### 4.1. Determinación de niveles de fondo para metales pesados en el suelo

##### 4.1.1. Concentraciones de los metales pesados en el suelo

La presente investigación contempló un total de veintiún (21) muestras compuestas de suelo representativas del área de estudio, a partir de las cuales se han obtenido las concentraciones totales de aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc, tal como se detalla en la Tabla 4-1:

**Tabla 4-1**

*Concentraciones totales de metales pesados en el suelo*

<b>Muestra</b>	<b>Al Total</b>	<b>Ba Total</b>	<b>Cr Total</b>	<b>Cu Total</b>	<b>Mn Total</b>	<b>Pb Total</b>	<b>Zn Total</b>
M-01	16720	32,72	17,82	7,39	699,2	22,35	55,67
M-02	19375	43,64	14,03	8,89	755,2	43,10	81,57
M-03	17741	57,38	15,85	10,96	646,3	31,40	62,33
M-04	16145	63,68	18,01	7,33	504,1	41,00	58,31
M-06	18921	101,4	20,32	17,84	184,7	55,80	41,06
M-07	31463	217,9	19,12	18,58	324,3	23,72	94,06
M-11	25337	68,59	15,14	8,30	278,2	27,50	82,58
M-12	11127	46,26	23,67	10,90	122,5	22,40	28,87
M-13	13330	48,44	20,63	9,37	623,5	30,60	62,52
M-14	17150	54,29	16,07	13,31	565,4	36,37	84,04
M-15	17916	106,6	58,62	12,68	166,7	48,70	87,82
M-16	16401	58,99	12,46	14,10	152,4	41,90	86,72
M-17	33826	229,1	17,69	18,79	288,5	28,10	122,0
M-18	32230	212,3	17,56	30,30	138,3	29,90	119,0

<b>Muestra</b>	<b>Al Total</b>	<b>Ba Total</b>	<b>Cr Total</b>	<b>Cu Total</b>	<b>Mn Total</b>	<b>Pb Total</b>	<b>Zn Total</b>
M-19	31558	230,5	17,64	24,76	471,0	49,00	132,0
M-21	31884	204,9	15,89	31,80	143,4	50,10	116,8
M-22	22829	235,5	45,33	35,62	229,5	21,48	96,80
M-23	24719	105,8	97,10	29,30	879,3	33,80	81,85
M-24	14783	43,86	23,43	13,86	623,7	49,50	83,91
M-25	19734	88,04	10,49	8,06	240,9	22,60	57,29
M-26	10890	29,24	15,61	3,44	470,0	37,50	57,59
<b>C mínima</b>	10890	29,24	10,49	3,44	122,50	21,48	28,87
<b>C máxima</b>	33826	235,50	97,10	35,62	879,30	55,80	132,00
<b>Media</b>	21146,62	108,53	24,40	15,98	405,10	35,56	80,61
<b>Desv. Est.</b>	7311,940	76,671	19,997	9,253	236,058	10,843	27,198

Nota. Las concentraciones totales de los metales pesados están expresadas en mg/kg.  
Elaboración propia.

A partir de la Tabla 4-1 podemos observar que las concentraciones de los metales pesados están dadas de mayor a menor por el aluminio, seguido del manganeso, bario, zinc, plomo, cromo y cobre, en función a las medias de cada uno.

El aluminio presentó mayores concentraciones en los puntos de muestreo M-07, M-17, M-18, M-19 y M-21; los cuales están situados en la parte oeste del área de estudio y los suelos se caracterizan por presentar una textura Franco Arcillo-Arenosa y en menor proporción a suelos Franco Arenosos, con una matriz conglomerádica compuesta de gravas con clastos subredondeados de calizas (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

El manganeso presentó altas concentraciones en los puntos de muestreo M-01, M-02, M-03, M-13, M-23 y M-24; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa en

su totalidad y dadas las condiciones de estas parcelas podrían presentar una mayor movilización en los suelos. Asimismo, puede atribuirse el aporte geológico predominante por parte del Grupo Pucará (zona occidental) formada por dolomitas masivas o chert estratificado, y por la Formación Pocobamba donde predominan calizas blanquecinas principalmente (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

Respecto al bario se registraron altas concentraciones en los puntos de muestreo M-07, M-17, M-18, M-19, M-21 y M-22; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa y en menor proporción a suelos Franco Arcillosos, además de presentar una matriz conglomerádica compuesta de gravas con clastos subredondeados propias de la formación Jeroc (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011). Estas concentraciones son directamente proporcionales a las concentraciones de Aluminio registradas en las mismas parcelas.

El zinc registró altas concentraciones en los puntos de muestreo M-17, M-18, M-19, M-21 y M-22; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa de acuerdo a los resultados de laboratorio. Estas concentraciones también son directamente proporcionales a las concentraciones de bario y aluminio, dado que presentan la misma matriz.

El plomo presentó las mayores concentraciones en los puntos de muestreo M-02, M-04, M-06, M-15, M-16, M-19, M-21 y M-24; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa y en menor proporción a suelos Francos. De acuerdo a su ubicación, están asociadas a zonas de baja pendiente y caracterizadas por presentar una matriz proveniente de la combinación de procesos aluvionales y fluvio-glaciares (Rodríguez M., 2003) que caracterizan en este sector del área de estudio.

El cromo registró altas concentraciones en los puntos de muestreo M-15, M-22 y M-23; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa y en menor proporción a suelos Franco Arenosos. Por su ubicación no presentan una distribución uniforme, dado la predominancia geológica por el Grupo Pucará (zona occidental) formada por dolomitas masivas y calizas de colores gris y marrón en estratos gruesos (Rodríguez M., 2010) y depósitos aluviales y fluvioglaciares (Rodríguez M., 2003).

Por último, el cobre registró altas concentraciones en los puntos de muestreo M-18, M-19, M-21, M-22 y M-23; asociados a suelos con textura Franco Arcillo-Arenosa y en menor proporción a suelos Franco Arenosos además de presentar una matriz conglomerádica compuesta de gravas con clastos subredondeados de calizas propias de la Formación Jeroc (Rodríguez M., Cueva T., & Carlotto C., 2011).

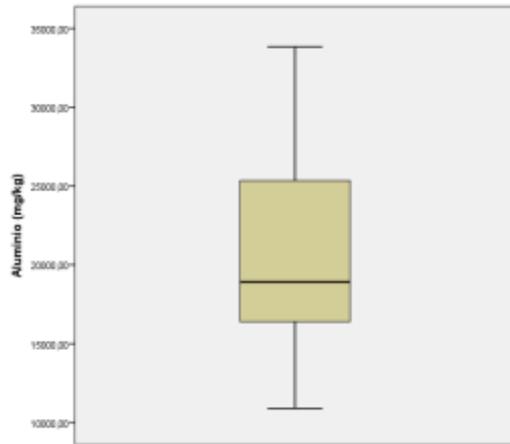
Por otro lado, si bien es cierto que existen metales pesados de interés relacionados a la actividad minera en Cerro de Pasco como el caso de arsénico y cadmio, los resultados de laboratorio reportaron concentraciones por debajo del límite de detección analítico (ver Anexo 4, Certificado de acreditación del laboratorio) para estos metales ( $< 2,21$  para arsénico y  $< 0,04$  para cadmio). Por lo cual no se consideraron en el presente estudio, toda vez que para el cálculo de los niveles de fondo estos valores no son recomendables a la hora de realizar el tratamiento estadístico, dado que no reflejarían las concentraciones naturales del área de estudio y conllevarían a error a la hora de estimar los niveles de referencia para estos metales.

#### **4.1.2. Determinación de valores discordantes**

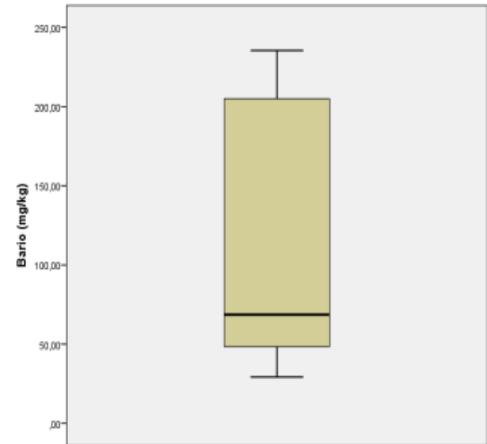
Para determinar los valores discordantes de las concentraciones de los metales pesados en el suelo del área de estudio, se emplearon los diagramas de cajas y bigotes (*boxplot*).

**Figura 4-1**

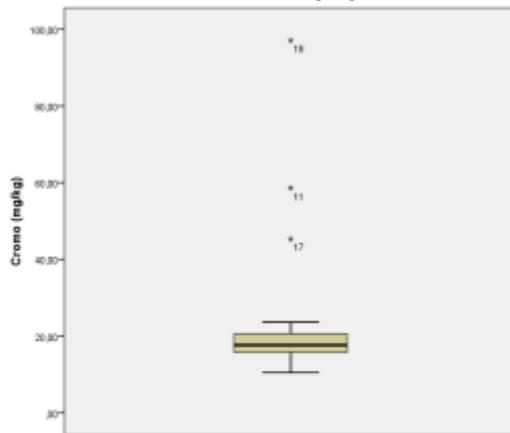
*Diagramas de cajas y bigotes para los contenidos de metales pesados*



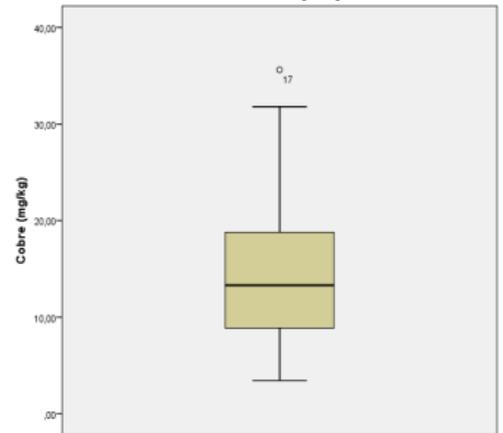
*a) Aluminio (mg/kg)*



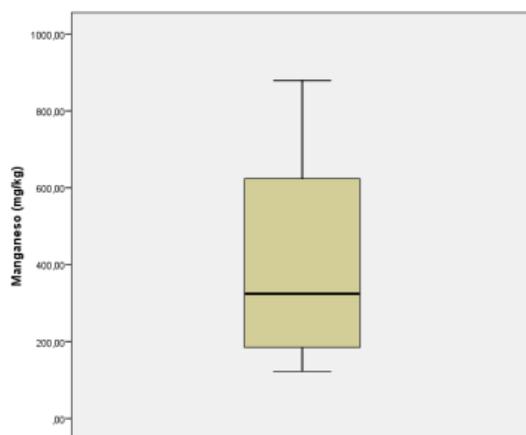
*b) Bario (mg/kg)*



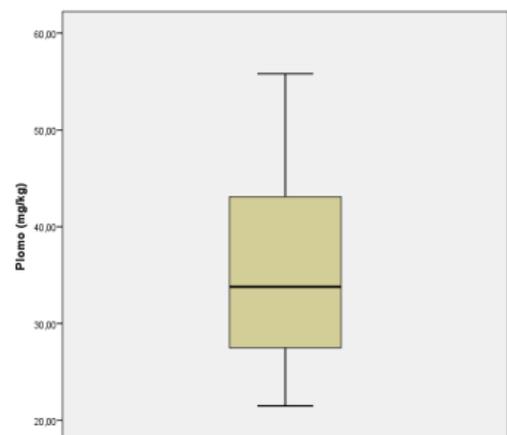
*c) Cromo (mg/kg)*



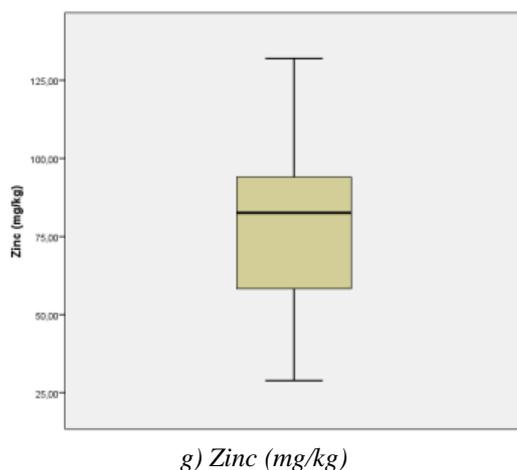
*d) Cobre (mg/kg)*



*e) Manganeso (mg/kg)*



*f) Plomo (mg/kg)*



Nota. Elaboración propia.

De la Figura 4-1 podemos interpretar el diagrama de cajas y bigotes (*boxplot*) donde la región de la caja (sombreada) contiene el 50% de los casos centrales, limitada en la parte inferior por el percentil 25 y la parte superior por el percentil 75 de los datos analizados; además, la mediana se representa como la línea intermedia en la región sombreada (Bakieva *et al.*, 2010). Los extremos representados como una línea o bigote establecen el límite de prolongación, donde el valor que se encuentre fuera de este rango se considerará como un valor atípico o anómalo.

En la Figura 4-1, *d* (para el caso del cobre) el valor anómalo queda representado por un círculo (o) lo que indica que su valor supera 1.5 veces el percentil 75; mientras que los valores en la Figura 4-1, *c* (para el caso del cromo) considerados también como valores extremos (Micó Llopis, 2005) superan 3 veces el percentil 75.

Para el caso del cromo, se tienen tres (03) valores discordantes que provienen de los puntos de muestreo M-23, M-15 y M-22; asimismo, respecto al cobre se tiene un (01) valor discordante asociado al punto de muestreo M-22. Esto indica que existe una gran variabilidad en la distribución espacial de estos metales en el suelo.

### 4.1.3. Pruebas de normalidad - Test de Shapiro-Wilkinson

A fin de determinar el tipo de distribución que presentan las concentraciones para cada uno de los metales pesados de interés del área de estudio, se aplicó el Test de Shapiro-Wilkinson ( $n < 50$ ) cuyos resultados se detallan en la Tabla 4-2:

**Tabla 4-2**

*Test de Shapiro-Wilkinson para metales pesados*

Metales Pesados	Asimetría	Curtosis	Estadístico	N° muestras	P*	Distribución
Aluminio	0,522	-0,996	0,902	21	0,039	No Normal
Bario	0,787	-1,159	0,798	21	0,001	No Normal
Cromo	2,922	8,994	0,573	21	0,000	No Normal
Cobre	0,864	-0,374	0,894	21	0,027	No Normal
Manganeso	0,427	-1,121	0,912	21	0,061	Normal
Plomo	0,307	-1,187	0,928	21	0,125	Normal
Zinc	0,149	-0,430	0,962	21	0,557	Normal

Nota. \* Representa la significancia, donde un valor bajo ( $P < 0,05$ ) indica que los datos no presentan una distribución normal.

Elaboración propia.

Podemos observar que los valores altos de la asimetría y curtosis corresponden al aluminio, bario, cromo, y cobre, los cuales indican la presencia de valores discordantes y denotando que las concentraciones de estos metales tienen una distribución No Normal.

Sin embargo, en la Tabla 4-3 se muestran los estadísticos y el tipo de distribución que presentan estos metales al realizar su transformación logarítmica; donde solo el aluminio y el cobre presentan una distribución Normal. Asimismo, al eliminar los valores discordantes del cromo, podemos observar que las concentraciones pueden

alcanzar la normalidad. Respecto a las concentraciones de bario, estas presentan una distribución No Normal en el área de estudio incluso al realizar la transformación logarítmica de los datos.

**Tabla 4-3**

*Test de Shapiro-Wilkinson para valores transformados (log-normal)*

<b>Metales Pesados</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>Estadístico</b>	<b>N° muestras</b>	<b>P*</b>	<b>Distribución</b>
Log-Al	0,032	-0,859	0,939	21	0,211	Normal
Log-Ba	0,284	-1,320	0,899	21	0,033	No Normal
Log-Cr	1,853	3,441	0,784	21	0,000	No Normal
Log-Cu	-0,183	-0,109	0,962	21	0,563	Normal
Cromo <sup>A</sup>	0,122	0,237	0,970	18	0,797	Normal

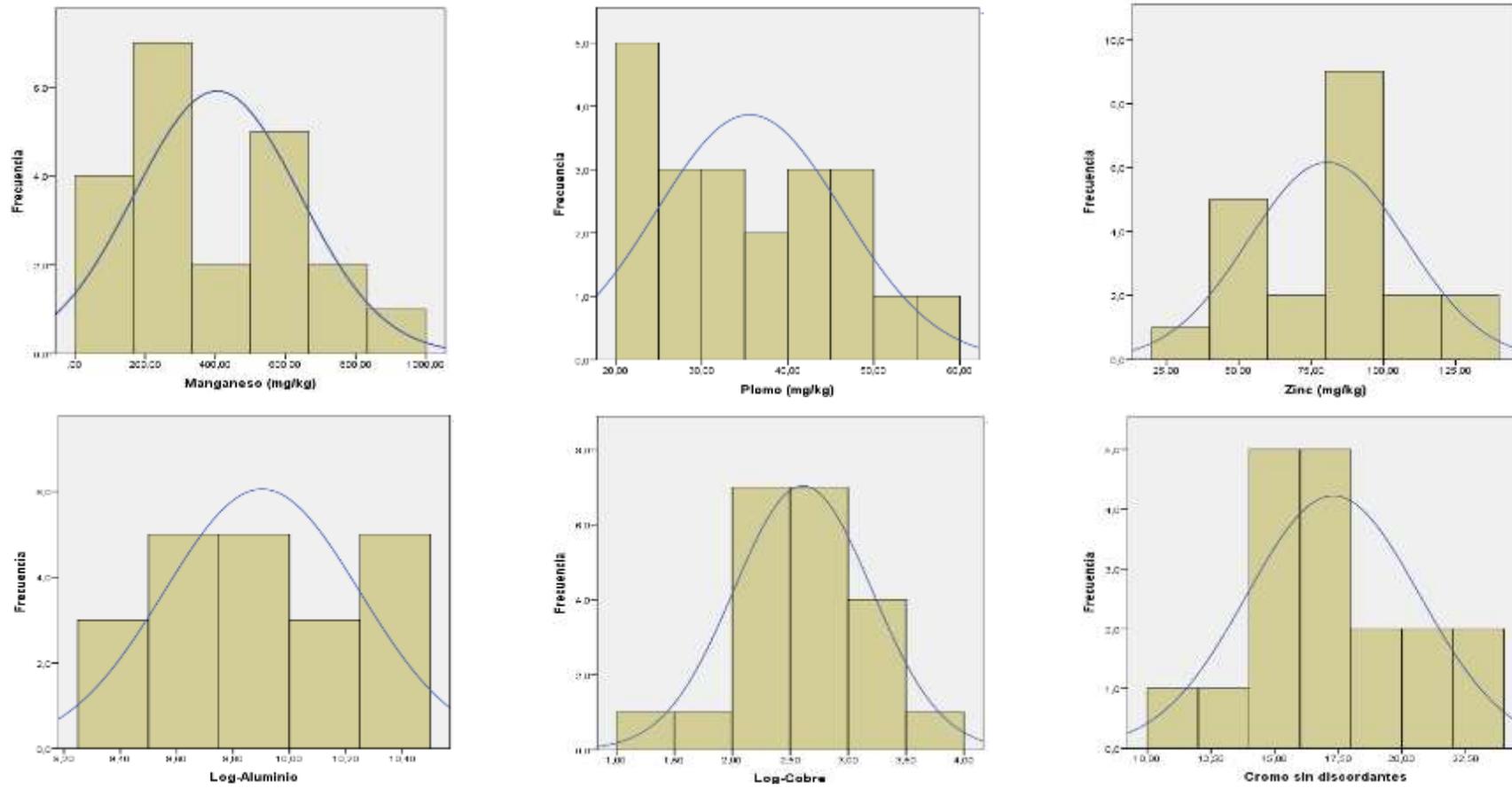
Nota. <sup>A</sup> El test no contempló los valores discordantes para este elemento. \* Representa la significancia, donde un valor bajo ( $P < 0,05$ ) indica que los datos no presentan una distribución normal.

Elaboración propia.

En la Figura 4-2 se muestran los histogramas de los contenidos totales de manganeso, plomo y zinc y la línea de distribución normal, teniendo en cuenta el total de las muestras evaluadas en el área de estudio. Asimismo, podemos observar la normalidad para el aluminio y el cobre al realizar la transformación logarítmica; y por último el cromo al eliminar los valores discordantes; a excepción del bario el cual no se determinó su histograma como tal, debido al tipo de distribución No Normal de las concentraciones presentes en el área de estudio.

**Figura 4-2**

*Histogramas de los contenidos totales de metales pesados*



Nota. Elaboración propia.

#### 4.1.4. Relaciones estadísticas entre los contenidos totales de metales pesados

A fin de establecer una relación entre algunos metales pesados que puedan tener una misma procedencia (natural) o por aportes antropogénicos, se determinan los coeficientes de correlación entre los contenidos totales de los metales pesados. El coeficiente de Pearson aplica a los metales pesados que tengan una distribución normal; y de Spearman, cuando uno de estos metales no tiene una distribución normal (Micó Llopis, 2005). En la Tabla 4-4 se muestran los coeficientes de correlación, donde la correlación para el manganeso, plomo y zinc está dada por el coeficiente de Pearson, y para el aluminio, bario, cromo y cobre el coeficiente de Spearman.

**Tabla 4-4**

*Correlaciones entre las concentraciones totales de metales pesados*

Variables		Al	Ba	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
Al	r	1,000						
	P	-						
Ba	r	0,810** <sup>b</sup>	1,000					
	P	0,000	-					
Cr	r	-0,109 <sup>b</sup>	0,225 <sup>b</sup>	1,000				
	P	0,319	0,164	-				
Cu	r	0,652** <sup>b</sup>	0,760** <sup>b</sup>	0,325 <sup>b</sup>	1,000			
	P	0,001	0,000	0,076	-			
Mn	r	-0,204 <sup>b</sup>	-0,413* <sup>b</sup>	0,038 <sup>b</sup>	-0,313 <sup>b</sup>	1,000		
	P	0,188	0,031	0,436	0,084	-		
Pb	r	-0,056 <sup>b</sup>	-0,047 <sup>b</sup>	-0,056 <sup>b</sup>	0,140 <sup>b</sup>	0,005 <sup>a</sup>	1,000	
	P	0,405	0,420	0,405	0,272	0,492	-	
Zn	r	0,686** <sup>b</sup>	0,710** <sup>b</sup>	0,014 <sup>b</sup>	0,726** <sup>b</sup>	-0,145 <sup>a</sup>	0,167 <sup>a</sup>	1,000
	P	0,000	0,000	0,475	0,000	0,265	0,234	-

Nota. \* La correlación es significativa en el nivel 0,05. \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01. (r): Coeficiente de Correlación. (P): Coeficiente de Significación. <sup>a</sup> Coeficiente de Pearson.

<sup>b</sup> Coeficiente de Spearman.

Elaboración propia.

Los resultados obtenidos indican que no todos los metales pesados están altamente correlacionados entre sí con una elevada significación ( $P < 0,01$ ) como el caso de los pares de elementos Zn–Al ( $r = 0,686$ ), Zn–Ba ( $r = 0,710$ ), Zn–Cu ( $r = 0,726$ ), Ba–Al ( $r = 0,810$ ), Cu–Al ( $r = 0,652$ ) y Cu–Ba ( $r = 0,760$ ), los cuales podrían indicar que el aumento del contenido de un metal estaría relacionado con el aumento de los otros metales y de esta manera presentar un comportamiento común (Micó Llopis, 2005) o provenir de fuentes similares (Lv *et al.*, 2015).

Por otro lado, el plomo presentó una menor correlación respecto a los demás metales pesados evaluados (específicamente con el aluminio, bario, cobre y zinc que revelen un posible origen natural) seguido del cromo y manganeso. Si bien es cierto que Micó Llopis (2005) sostiene que los metales pesados que presenten una menor correlación pueda atribuirse su procedencia por actividades antrópicas; no se descarta que estos altos contenidos sean procedentes de parcelas donde el afloramiento lítico ha sido característico y los suelos presentes estén en desarrollo, como el caso de la parcela M-23 la cual reportó elevadas concentraciones de manganeso y cromo.

#### **4.1.4.1. Análisis factorial**

El análisis factorial de los contenidos totales de los metales pesados permitió identificar los componentes principales, así como el porcentaje de varianza que explica cada uno de estos; de esta manera, podemos ver aquellos componentes o factores que explique la mayor varianza en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco.

En la Tabla 4-5 podemos observar que el 82,9% de la varianza puede ser explicada mediante tres factores o componentes principales (Componente 1, Componente 2 y Componente 3), dado que se toman los autovalores mayores que 1 (Micó Llopis, 2005)

que a pesar que esto conlleva a una pérdida de la capacidad explicativa, esta pérdida no sea significativa.

**Tabla 4-5**

*Análisis factorial para los contenidos totales de metales pesados*

Variables	Componentes Principales		
	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Bario	<b>0,955</b>	-0,137	-
Aluminio	<b>0,913</b>	-0,115	-
Cobre	<b>0,884</b>	0,225	-
Zinc	<b>0,863</b>	-	0,206
Cromo	0,232	<b>0,869</b>	-
Manganeso	-0,344	<b>0,688</b>	-
Plomo	-	-	<b>0,988</b>
Autovalor	3,453	1,313	1,035
Varianza Explicada	49,3 %	18,8 %	14,8 %

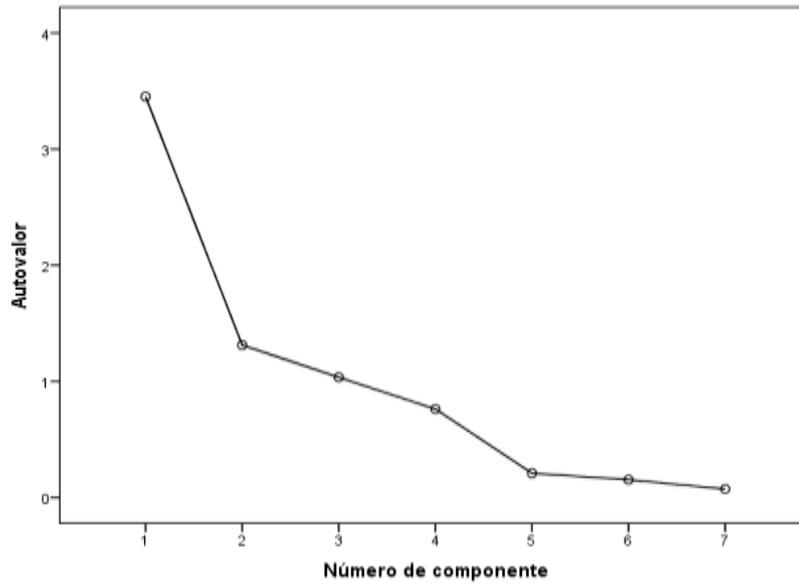
Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, el Componente 1 explica el 49,3 % de la varianza, donde los mayores coeficientes de carga están dados por bario, aluminio, cobre y zinc. El Componente 2 explica el 18,8 % de la varianza, el cual comprende como variables principales al cromo y manganeso. Por último, el Componente 3 explica un 14,8 % de la varianza donde interviene el contenido total de plomo.

En la Figura 4-3 se muestra el gráfico de sedimentación el cual justifica la selección o determinación del número óptimo de estos factores o componentes principales, y en la Figura 4-4 se muestra la proyección de los componentes principales identificados.

**Figura 4-3**

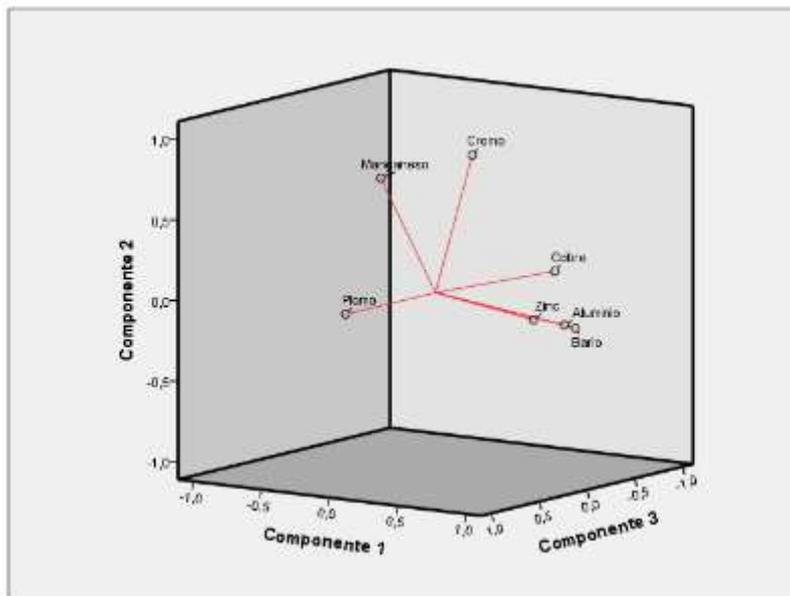
*Gráfico de sedimentación para la selección de componentes principales*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 4-4**

*Gráfico de componentes principales en espacio rotado*



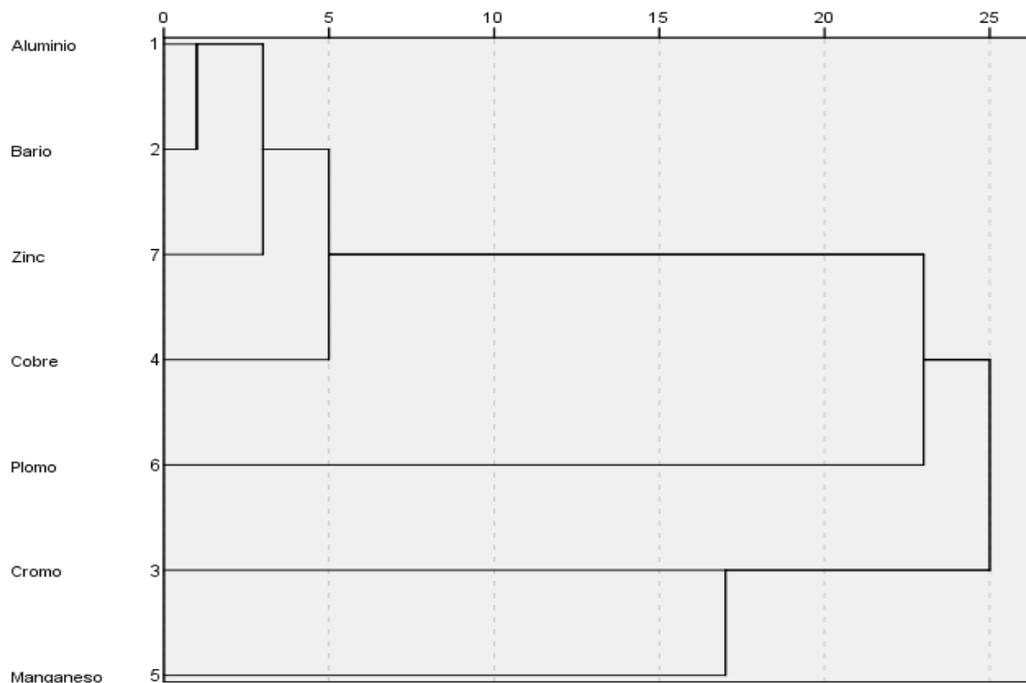
Nota. Representación gráfica de los componentes principales identificados para metales pesados. Elaboración propia.

#### 4.1.4.2. Análisis clúster

En la Figura 4-5 se muestra el dendrograma a partir del análisis de los contenidos totales de metales pesados, donde se observa claramente los conglomerados bien diferenciados; específicamente se puede ver en una primera etapa dos (02) grupos o conglomerados, donde el primer grupo el cromo y manganeso se distingue del resto de los metales pesados y en el segundo grupo observamos que el plomo se distingue notoriamente del resto de los metales pesados evaluados (aluminio, bario, zinc y cobre) los cuales están relacionados a su origen mayoritariamente litogénico. Este análisis corrobora las conclusiones realizadas en el análisis factorial (Micó Llopis, 2005) donde los contenidos de plomo, cromo y manganeso se deba por la heterogeneidad lítica del área de estudio, así como posibles aportes antropogénicos.

**Figura 4-5**

*Dendrograma obtenido del análisis clúster para metales pesados*



Nota. Elaboración propia.

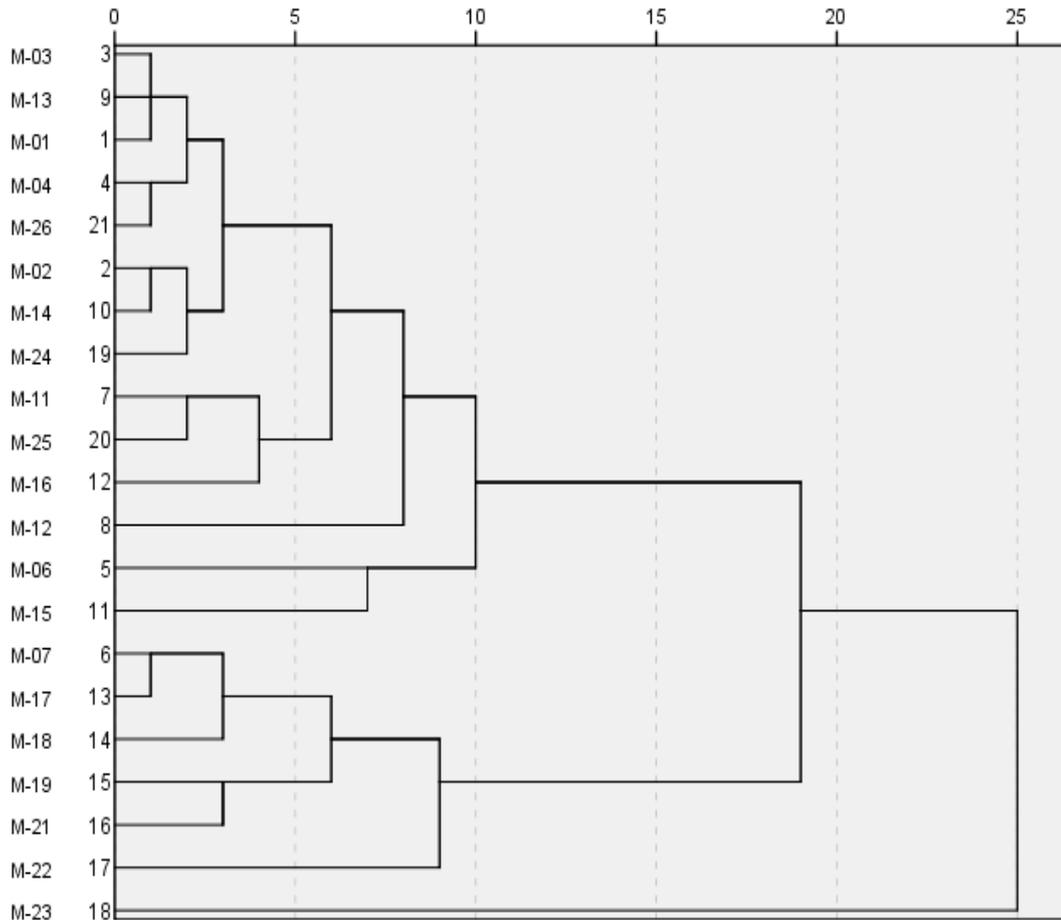
Asimismo, en la Figura 4-6 se muestra el dendrograma que muestra las agrupaciones entre las veintiún (21) muestras analizadas en el área de estudio en función a los contenidos totales de los metales pesados. Podemos observar que el punto de muestreo M-23 se distingue de las demás muestras toda vez que este comprende las mayores concentraciones de cromo (97,1 mg/kg) y manganeso (879,3 mg/kg) en el área de estudio.

En el segundo grupo podemos observar las muestras M-07, M-17, M-18, M-19, M-21 y M-22 que tienen similitud al contener los mayores valores de aluminio, bario, cobre y zinc, dado que se ubican en la zona este del área de estudio a la margen derecha del río San Juan y las condiciones del entorno son de tipo colinas suaves altiplánicas donde se desarrolla en mayor proporción la actividad agrícola.

El tercer grupo contempla la mayoría de las parcelas sobre la cual se encuentran las concentraciones de los demás metales pesados distribuidas normalmente en los suelos del área de estudio, las cuales contemplan los menores valores como el caso del aluminio, bario, cobre y zinc; sin embargo, podemos observar que la muestra M-06 se distingue en esta agrupación debido a que presenta la mayor concentración de plomo (55,8 mg/kg). Si bien es cierto que el plomo aparentemente ocupa una posición intermedia; este elemento indica la diversidad de su procedencia, la cual pueda ser tanto litogénica como antropogénica (Peris Mendoza, 2005).

**Figura 4-6**

*Dendrograma obtenido del análisis clúster por puntos de muestreo*



Nota. Elaboración propia.

#### **4.1.5. Cálculo del UCL95**

El cálculo del UCL95 para cada una de las concentraciones de los metales pesados evaluados en el área de estudio se realizó a través del programa estadístico ProUCL el cual permitió obtener un estadístico en función al tipo de distribución que presenten los datos; para ello se requiere un número mínimo de 10 datos para realizar el cálculo. En la Tabla 4-6 se presenta el cálculo del UCL95 para cada metal considerando todas las concentraciones obtenidas en la etapa de muestreo y el cálculo del UCL95 sin los valores discordantes, como el caso del cromo y cobre.

**Tabla 4-6***Calculo del UCL95 para metales pesados*

<b>Metales Pesados</b>	<b>UCL95<sup>A</sup></b>	<b>Distribución*</b>	<b>UCL95<sup>B</sup></b>	<b>Distribución*</b>
Aluminio	24432	95% Adjusted Gamma UCL	N.A.	N.A.
Bario	146.1	95% Adjusted Gamma UCL	N.A.	N.A.
Cromo	43.42	95% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	18.7	95% Student's-t UCL
Cobre	20.43	95% Adjusted Gamma UCL	19.09	95% Adjusted Gamma UCL
Manganeso	493.9	95% Student's-t UCL	N.A.	N.A.
Plomo	39.64	95% Student's-t UCL	N.A.	N.A.
Zinc	90.85	95% Student's-t UCL	N.A.	N.A.

Nota. <sup>A</sup> Se realizó el cálculo del UCL95 incluyendo los valores discordantes. <sup>B</sup> Se realizó el cálculo del UCL95 sin los valores discordantes. \* El ProUCL sugiere la selección del UCL95 más apropiado de acuerdo a la distribución de los datos. N.A.: No Aplica.

Elaboración propia.

Podemos observar que el UCL95 calculado para los contenidos totales de cada metal pesado, se ajustan según la distribución que presentan (distribución normal, gamma, log-normal, entre otros); no obstante, el ProUCL sugiere un UCL95 que más se ajuste para cada uno de los metales pesados evaluados en el suelo en función a la distribución que presenten (ver Anexo 5, Análisis Estadístico en ProUCL). Asimismo, se realizó el cálculo del UCL95 sin considerar los valores discordantes (específicamente para el cromo y cobre) donde se obtiene un valor más ajustado el cual es menor respecto al UCL95 calculado con todos los valores. El cromo obtuvo un UCL95 menor al eliminar

los valores discordantes, respecto al UCL95 del cobre; siendo significativo el aporte de estos valores anómalos debido a la variabilidad espacial de este metal en el suelo.

#### 4.1.6. Propuesta de niveles de fondo

Los niveles de fondo constituyen el contenido de metales pesados en el suelo considerados dentro de lo normal y están compuestos por un intervalo de valores en la cual se sitúa la mayoría de las muestras evaluadas (Micó Llopis, 2005; Peris Mendoza, 2005). Es por ello que durante el tratamiento estadístico se descartan los valores discordantes para determinar los niveles de fondo (Brus *et al.*, 2002), dado que estarían asociados a una posible contaminación puntual, aportes de otras fuentes o actividades humanas, cambios de uso de suelo, entre otros (Peris Mendoza, 2005).

En la Tabla 4-7 se muestran los estadísticos descriptivos para cada uno de los metales pesados evaluados en el área de estudio en Cerro de Pasco, donde no se consideraron los valores discordantes como el caso del cromo y cobre como parte del tratamiento estadístico.

**Tabla 4-7**

*Estadísticos descriptivos de las concentraciones totales de metales pesados*

<b>Metales Pesados</b>	<b>N° muestras</b>	<b>Val. Min</b>	<b>Val. Max</b>	<b>Med. Aritm.</b>	<b>Med. Geom.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desv. Estándar</b>
Aluminio	21	10890	33826	21146,62	19981,73	18921	7311,940
Bario	21	29,24	235,50	108,53	85,70	68,59	76,671
Cromo*	18	10,49	23,67	17,30	16,98	17,60	3,399
Cobre*	20	3,44	31,80	15,00	12,96	13,00	8,295
Manganeso	21	122,50	879,30	405,10	337,07	324,30	236,058
Plomo	21	21,48	55,80	35,56	33,99	33,80	10,843

<b>Metales Pesados</b>	<b>N° muestras</b>	<b>Val. Min</b>	<b>Val. Max</b>	<b>Med. Aritm.</b>	<b>Med. Geom.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desv. Estándar</b>
Zinc	21	28,87	132,00	80,61	75,82	82,58	27,198

Nota. \* Se calculó los estadísticos descriptivos al eliminar los valores discordantes.  
Elaboración propia.

A partir de los estadísticos descriptivos podemos determinar los niveles de fondo para los metales pesados en el suelo del área de estudio aledaño a la ciudad de Cerro de Pasco. Para ello se ha considerado el tipo de distribución que presenten estos metales pesados, el cual definirá el parámetro estadístico a considerar (Media Aritmética, Media Geométrica, Mediana) acorde a lo indicado en el Capítulo 2, Tabla 2-10; donde la mayoría de los metales pesados corresponde la aplicación de la media aritmética o geométrica como nivel de fondo según su distribución estadística, a excepción del bario el cual le corresponde la mediana como estadístico descriptivo, debido a su distribución No Normal.

Asimismo, el Percentil 90 (p90) se muestra como un parámetro descriptivo que también define el nivel de fondo y el cual ha sido aplicado en diferentes partes del mundo; como el caso de Andalucía en España (Micó Llopis, 2005) y en Tirana (Albania) (Gjoka *et al*, 2011). Además, se tiene el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética - UCL95 propuesto por la US EPA (MINAM, 2015; US EPA, 2015), tal como se detalla en la Tabla 4-8:

**Tabla 4-8***Niveles de Fondo propuestos para metales pesados*

Metales Pesados	Distribución	Población de Fondo	Niveles de Fondo		
			Método Estadístico Descriptivo		UCL95
			Parámetro Estadístico	Valor	
Aluminio	Log-Normal (n=21)	[10890 - 33826]	Media Geométrica	19982	24432
Bario	No Normal (n=21)	[29,24 - 235,50]	Mediana	69	146
Cromo	Normal (n=18)	[10,49 - 23,67]	Media Aritmética	17	19 *
Cobre	Log-Normal (n=20)	[3,44 - 31,80]	Media Geométrica	13	19 *
Manganeso	Normal (n=21)	[122,50 - 879,30]	Media Aritmética	405	494
Plomo	Normal (n=21)	[21,48 - 55,80]	Media Aritmética	36	40
Zinc	Normal (n=21)	[28,87 - 132,00]	Media Aritmética	81	91

Nota. Los niveles de fondo están expresados en mg/kg y fueron determinados a partir de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95.

\*Para el cromo y cobre, se consideró el cálculo del UCL95 sin los valores discordantes.

Elaboración propia.

## **4.2. Relación entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones totales de los metales pesados del suelo**

### **4.2.1. Parámetros fisicoquímicos del suelo**

Considerando los resultados de las veintiún (21) muestras compuestas duplicado, se han obtenido las principales propiedades fisicoquímicas del suelo del área de estudio aledaño a la ciudad de Cerro de Pasco y el cálculo de sus estadísticos descriptivos.

En la Tabla 4-9 podemos observar que el pH del suelo oscila entre 4,26 a 6,7 y un promedio de 5,37 indicando que son suelos fuertemente ácidos a ligeramente ácidos (Porta Casanellas *et al*, 2003) afectado en gran medida por el material parental mineral, seguido en menor medida por los contenidos de materia orgánica (GEMESA, 2010). Respecto a la textura del suelo, el 52,4 % de las muestras presentan una textura Franco Arcillo Arenosa, seguido de un 33,3 % de muestras con una textura Franco Arenosa y el 14,3% de las muestras de tipo Franco.

El contenido de materia orgánica varía entre 1,71 a 10,74 % y un promedio de 4,7 % donde los altos porcentajes corresponden a las muestras M-17, M-18, M-19, M-21 y M-22 situados al Este del área de estudio, pudiendo ser favorecidas por las condiciones climáticas frías de Cerro de Pasco que no permite la descomposición de la materia orgánica con facilidad (GEMESA, 2010) conllevando su acumulación en el suelo (Porta Casanellas *et al*, 2003); además se puede atribuir la baja eficiencia de descomposición por la actividad biológica debido a las condiciones ácidas del medio (Ruiz Olortino, 2016) .

Los carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) en el suelo son nulos en el área de estudio toda vez que no se tienen valores registrados en las muestras analizadas, el cual al ser cotejados con los

resultados de pH se indica que el medio es ácido. La conductividad eléctrica (C.E.) se presenta en un rango de 0,02 y 0,17 dS/m lo que indica efectos de salinidad casi nulos (USDA, 1999); es decir, la cantidad de sales disueltas presentes en el suelo son mínimas, pudiendo ser favorables estos suelos para la agricultura (crecimiento de los cultivos) debido a la fácil asimilación de los nutrientes del suelo (Ruiz Olortino, 2016).

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) en los suelos del área de estudio oscila entre 12,32 a 39,04 meq/100g y un promedio de 24,23 meq/100g no siendo tan variables en el área de estudio, donde los mayores valores están relacionados a suelos de tipo Franco Arcillo Arenosos y presentan una mayor concentración de los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, y Na); haciendo que estos suelos tengan un potencial nutricional (Ruiz Olortino, 2016) dado que estas partículas quedan retenidos débilmente retenidos para así poderse intercambiar en la solución del suelo (Mosquera Lenti, 2017) .

La concentración de fósforo total en el suelo varía entre 2,30 y 55,40 ppm, siendo este elemento poco móvil (Rodríguez Almonte, 2016; Mosquera Lenti, 2017) y baja solubilidad a pH ácidos (4,26 y 6,7) permitiendo que forme compuestos en el suelo como fosfato de aluminio, fosfato de hierro o fosfato de calcio (Ruiz Olortino, 2016).

El contenido de potasio en el suelo varía entre 39 y 424 ppm y un valor promedio de 97,24 ppm presentando una gran variabilidad de este elemento en el suelo; sin embargo, estas concentraciones no se encuentran del todo disponibles debido a que su presencia está en forma de fosfatos y otros compuestos no asimilables para las plantas (Rodríguez Almonte, 2016).

**Tabla 4-9***Estadísticos descriptivos de las propiedades fisicoquímicas del suelo*

<b>Muestra</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Clase Textural</b>	<b>pH</b>	<b>C.E. (dS/m)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>C.I.C. (meq/100g)</b>	<b>M.O. (%)</b>	<b>P (ppm)</b>	<b>K (ppm)</b>
M-01	50	21	29	Fr.Ar.A.	4,26	0,03	0	14,40	1,71	19,2	67
M-02	58	21	21	Fr.Ar.A.	4,30	0,03	0	16,96	2,83	14,7	94
M-03	58	19	23	Fr.Ar.A.	4,69	0,03	0	18,56	1,99	16,8	54
M-04	52	23	25	Fr.Ar.A.	4,43	0,03	0	15,68	3,24	55,4	90
M-06	48	31	21	Fr.	6,35	0,16	0	25,60	6,21	2,9	66
M-07	44	25	31	Fr.Ar.	6,44	0,10	0	32,96	6,62	5,0	123
M-11	48	29	23	Fr.	5,11	0,02	0	24,32	3,29	13,6	132
M-12	58	25	17	Fr.A.	4,35	0,03	0	14,08	3,81	12,2	46
M-13	58	23	19	Fr.A.	4,39	0,04	0	12,32	3,29	29,6	103
M-14	56	27	17	Fr.A.	5,33	0,05	0	20,32	3,88	28,3	166
M-15	50	29	21	Fr.	5,93	0,05	0	16,96	3,08	4,4	47
M-16	54	25	21	Fr.Ar.A.	5,76	0,05	0	17,92	2,76	11,1	424
M-17	44	25	31	Fr.Ar.	5,66	0,09	0	35,68	7,36	2,3	116

<b>Muestra</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Arcilla (%)</b>	<b>Clase Textural</b>	<b>pH</b>	<b>C.E. (dS/m)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>C.I.C. (meq/100g)</b>	<b>M.O. (%)</b>	<b>P (ppm)</b>	<b>K (ppm)</b>
M-18	62	19	19	Fr.A.	6,18	0,17	0	39,04	9,31	3,5	85
M-19	52	19	29	Fr.Ar.A.	5,80	0,11	0	38,40	8,28	2,4	93
M-21	52	21	27	Fr.Ar.A.	6,01	0,10	0	34,88	8,28	20,7	86
M-22	54	21	25	Fr.Ar.A.	6,31	0,09	0	38,88	10,34	11,5	64
M-23	58	27	15	Fr.A.	6,70	0,08	0	25,92	3,79	2,8	39
M-24	48	25	27	Fr.Ar.A.	4,60	0,03	0	14,40	2,32	26,0	50
M-25	52	25	23	Fr.Ar.A.	5,54	0,05	0	23,52	4,41	2,6	51
M-26	54	23	23	Fr.Ar.A.	4,60	0,04	0	28,00	1,96	3,0	46
<b>C mínima</b>	44,00	19,00	15,00	-	4,26	0,02	0	12,32	1,71	2,30	39,00
<b>C máxima</b>	62,00	31,00	31,00	-	6,70	0,17	0	39,04	10,34	55,40	424,00
<b>M. Aritm.</b>	52,857	23,952	23,191	-	5,369	0,066	0	24,229	4,703	13,714	97,238
<b>M. Geom.</b>	52,639	23,719	22,750	-	5,308	0,054	0	22,622	4,073	8,796	80,967
<b>Mediana</b>	52,000	25,000	23,000	-	5,540	0,050	0	23,520	3,790	11,500	85,000
<b>Desv. Est.</b>	4,881	3,442	4,600	-	0,824	0,043	0	9,163	2,642	13,147	82,011

Nota. Fr.: Franco; Fr.A.: Franco Arenoso; Fr.Ar.: Franco Arcilloso; Fr.Ar.A.: Franco Arcillo Arenoso.  
Elaboración propia.

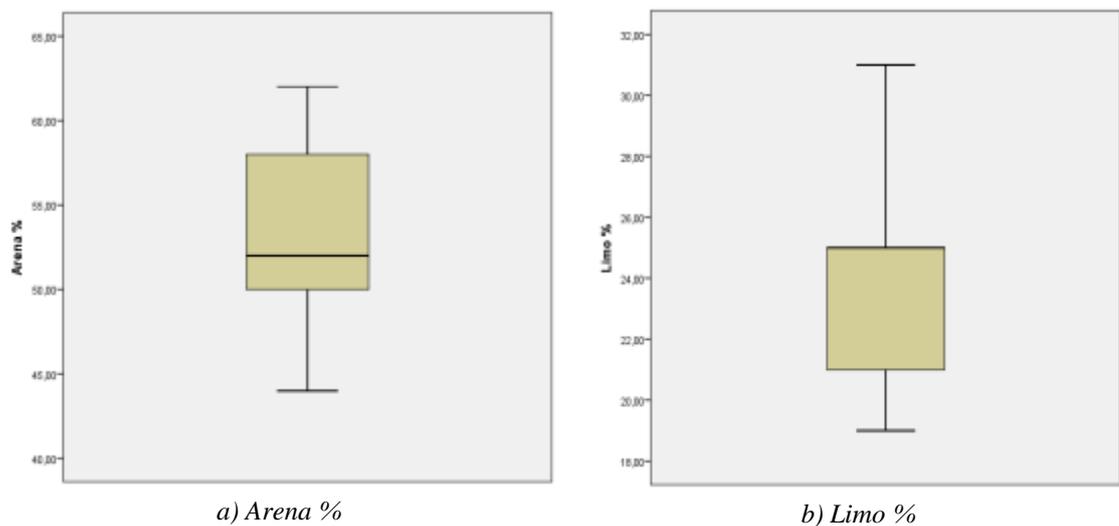
Estos resultados permitirán el tratamiento estadístico para cada una de las variables a analizar, cuyos resultados permitirán escoger las pruebas estadísticas apropiadas a fin de conocer las diferentes relaciones que existen entre las propiedades fisicoquímicas del suelo consideradas en la presente investigación (arena, limo, arcilla, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, fosforo y potasio).

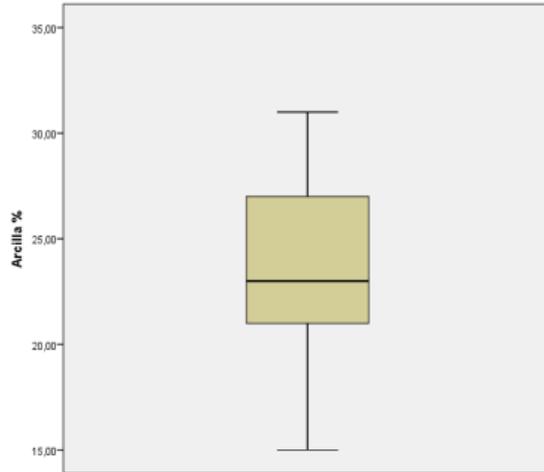
#### 4.2.2. Determinación de valores discordantes

A través de los diagramas de cajas y bigotes (*boxplot*) determinaremos la existencia de valores discordantes para cada una de las propiedades fisicoquímicas del suelo, los cuales se muestra en la Figura 4-7:

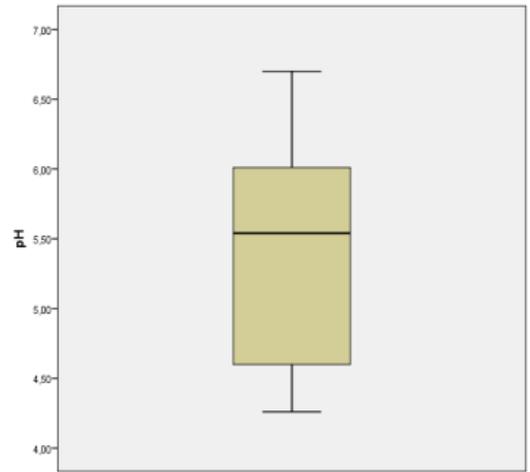
**Figura 4-7**

*Diagramas de cajas y bigotes para las propiedades fisicoquímicas del suelo*

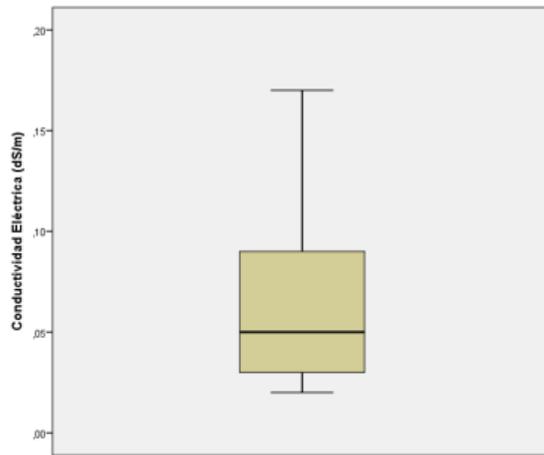




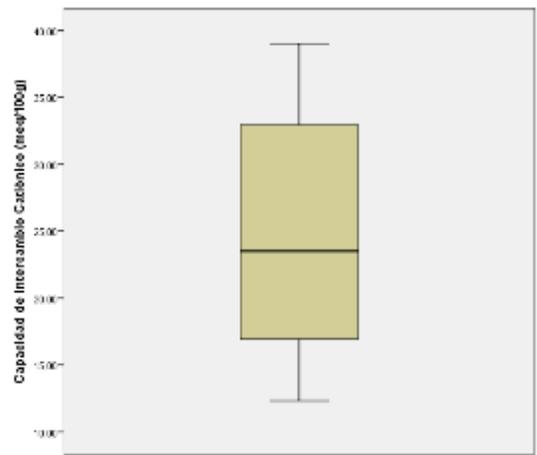
*c) Arcilla %*



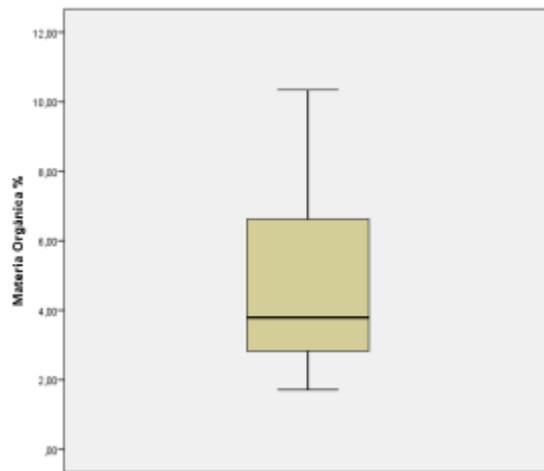
*d) pH*



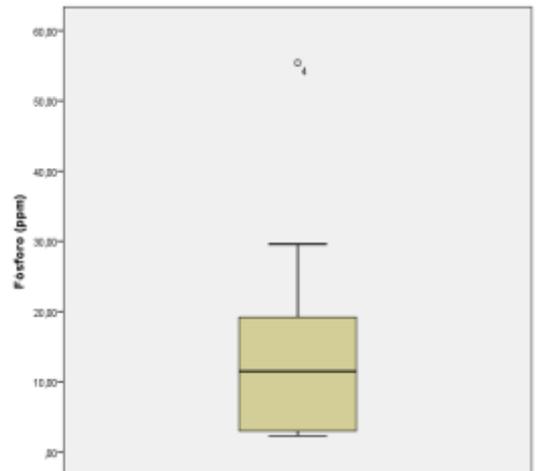
*e) Conductividad Eléctrica (dS/m)*



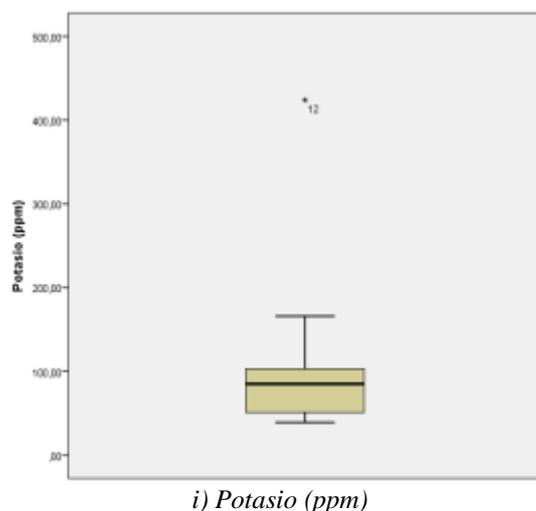
*f) C.I.C. (Meq/100g)*



*g) Materia Orgánica %*



*h) Fosforo (ppm)*



Nota. Elaboración propia.

Como se ha observado anteriormente, la interpretación del diagrama de cajas y bigotes, el 50% de los casos centrales está dado por la región sombreada (caja) la cual limita en la parte inferior por el percentil 25 y la parte superior por el percentil 75 de los datos analizados, donde la mediana se representa como la línea intermedia en la región sombreada (Bakieva *et al.*, 2010). Los extremos representados como una línea o bigote establecen el límite de prolongación, donde el valor que se encuentre fuera de este rango se considerará como un valor atípico o anómalo.

En la Figura 4-7, *h* (para el caso del Fósforo) el valor anómalo representado por un círculo (o) indica que su valor supera 1.5 veces el percentil 75; mientras que en la Figura 4-7, *i* (para el caso del potasio) considerado también como valor extremo (Micó Llopis, 2005) supera 3 veces el percentil 75.

Los contenidos de fosforo y potasio solo presentan un valor anómalo el cual corresponde a los puntos de muestreo M-04 (55,4 ppm) y M-16 (424 ppm) respectivamente, lo cual podría atribuirse los altos contenidos de estos elementos por

la meteorización de los minerales, el contenido de minerales arcillosos y la mineralización de los residuos orgánicos (Mosquera Lenti, 2017).

Respecto a los demás parámetros fisicoquímicos no presentan valores discordantes, por lo que se podría asumir que presentan una distribución normal; sin embargo, para corroborar tal afirmación se procederá a realizar las pruebas de normalidad.

#### 4.2.3. Pruebas de normalidad – Test de Shapiro Wilkinson

Para determinar si los contenidos de los parámetros fisicoquímicos presentan una distribución normal, se aplicó el Test de Shapiro-Wilkinson ( $n < 50$ ) cuyos resultados se detallan en la Tabla 4-10:

**Tabla 4-10**

*Test de Shapiro-Wilkinson para las propiedades fisicoquímicas del suelo*

Variables	Asimetría	Curtosis	Estadístico	N° muestras	P*	Distribución
Arena	-0,144	-0,570	0,955	21	0,424	Normal
Limo	0,272	-0,595	0,944	21	0,259	Normal
Arcilla	0,144	-0,748	0,962	21	0,565	Normal
pH	-0,012	-1,536	0,909	21	0,052	Normal
C.E.	1,193	0,713	0,838	21	0,003	No Normal
C.I.C.	0,442	-1,268	0,899	21	0,033	No Normal
M.O.	0,863	-0,558	0,872	21	0,011	No Normal
Fosforo	1,733	3,881	0,812	21	0,001	No Normal
Potasio	3,437	13,621	0,595	21	0,000	No Normal

Nota. \* Representa la significancia, donde un valor bajo ( $P < 0.05$ ) indica que los datos no presentan una distribución normal.  
Elaboración propia.

De la Tabla 4-10 se puede observar que los altos valores de asimetría y curtosis pertenecen al potasio, fosforo, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (de mayor a menor) lo cual denota una distribución No Normal debido a la heterogeneidad de los valores, así como la presencia de valores discordantes.

Sin embargo, al realizar la transformación logarítmica, estos elementos llegan a presentar una distribución Normal excepto para el potasio, donde solo llega a presentar una distribución Normal cuando se llega a eliminar los valores discordantes (ver Tabla 4-11). Teniendo en cuenta estos resultados, podemos ver que la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos está regida por las condiciones naturales de los suelos del área de estudio, procedentes de los contenidos de minerales arcillosos, como la misma mineralización de la materia orgánica.

**Tabla 4-11**

*Test de Shapiro-Wilkinson para valores transformados (log-normal)*

<b>Variables</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>Estadístico</b>	<b>N° muestras</b>	<b>P*</b>	<b>Distribución</b>
Log-C.E.	0,350	-1,010	0,923	21	0,098	Normal
Log-C.I.C.	0,079	-1,388	0,927	21	0,120	Normal
Log-M.O.	0,248	-1,072	0,942	21	0,237	Normal
Log-Fosforo	0,040	-1,382	0,910	21	0,056	Normal
Log-Potasio	1,287	2,677	0,902	21	0,038	No Normal
Potasio <sup>A</sup>	0,866	0,305	0,918	20	0,092	Normal

Nota. <sup>A</sup> El test no contempló los valores discordantes para este elemento. \* Representa la significancia, donde un valor bajo ( $P < 0,05$ ) indica que los datos no presentan una distribución normal. Elaboración propia.

El caso excepcional del potasio al presentar un valor de 424 ppm en el punto de muestreo M-16, indica que posiblemente se deba al proceso de meteorización de los minerales relacionado con la pedogénesis (Mosquera Lenti, 2017) haciendo que su distribución cambie dado la diferencia entre los valores normales encontrados en los demás puntos de muestreo evaluados dentro del área de estudio. Respecto a la actividad agrícola, se descarta un posible aporte relacionado a este elemento dado que las parcelas agrícolas se sitúan en los alrededores del punto M-16.

La materia orgánica presenta diversos grados de descomposición de la misma, dado que ciertas muestras se obtuvieron en zonas cercanas a las parcelas agrícolas y otras en los alrededores de las mismas (laderas, fondos de valle, etc.). Su contenido varía entre 0,1 y 10% en el horizonte A en suelos agrícolas (Mosquera Lenti, 2017) por lo que sus bajos valores corresponden al uso intensivo al que se ven sometidos estos suelos (Micó Llopis, 2005).

Respecto a la conductividad eléctrica (Tabla 4-9), si bien es cierto que presenta una heterogeneidad en los valores reportados, la totalidad de los mismos no superan el 2 dS/m lo que indican que los suelos del área de estudio no presentan problemas de salinidad, debido a que el contenido de sales disueltas en el suelo es mínimo (Micó Llopis, 2005).

La capacidad de intercambio catiónico (Tabla 4-9) presenta valores notoriamente heterogéneos y teniendo en cuenta la clasificación de Sánchez *et al.* (1984), citado por Micó Llopis (2005); se puede deducir que el 19 % de las muestras evaluadas presentan valores bajos (inferior a 15 meq/100g), el 28,5 % de las muestras evaluadas presentan valores normales (15 a 20 meq/100g) y el 52,5 % de las muestras presentan valores

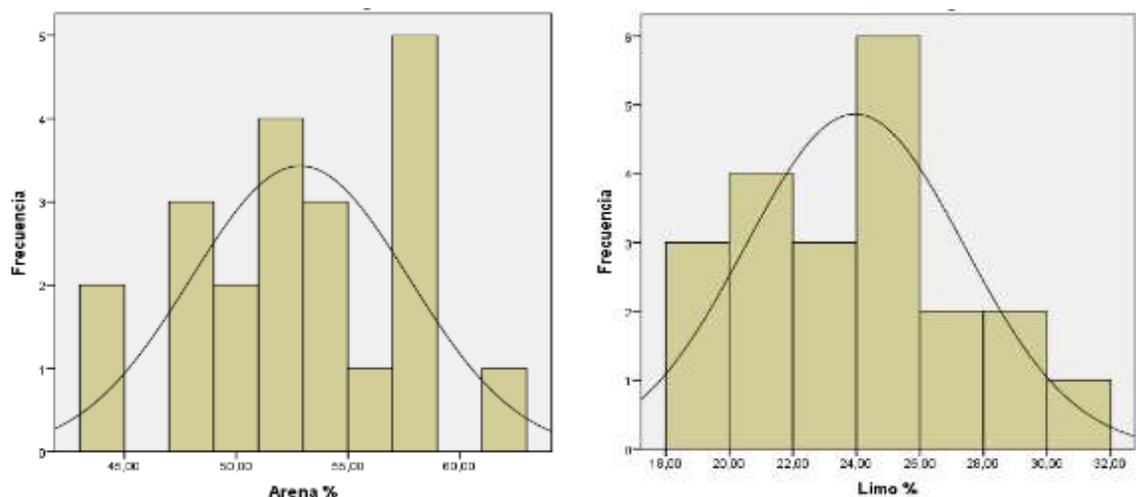
superiores (mayor a 20 meq/100g). Además, la literatura indica que para que un suelo presente condiciones mínimas aceptables de fertilidad, la C.I.C. debe presentar un valor superior a 10 meq/100g (Micó Llopis, 2005).

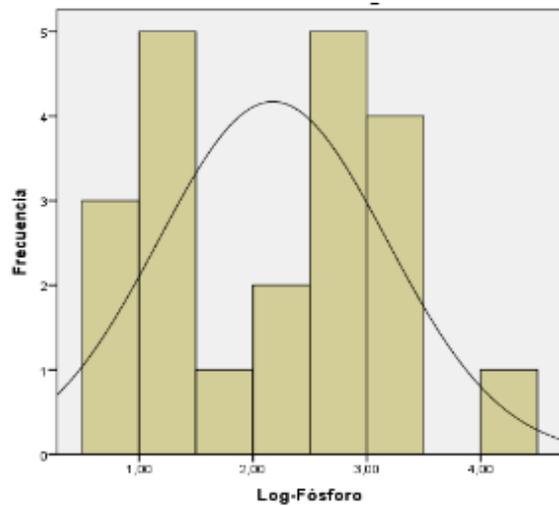
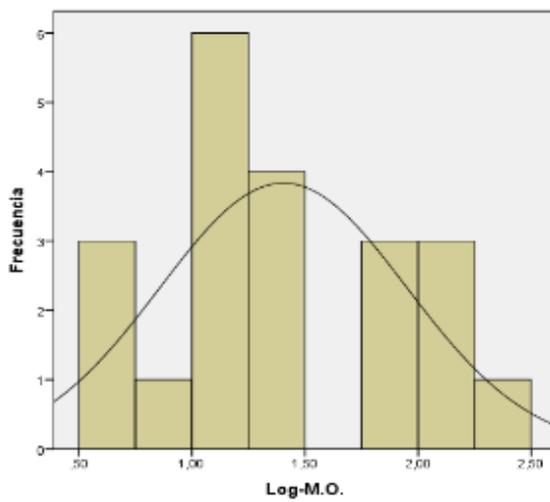
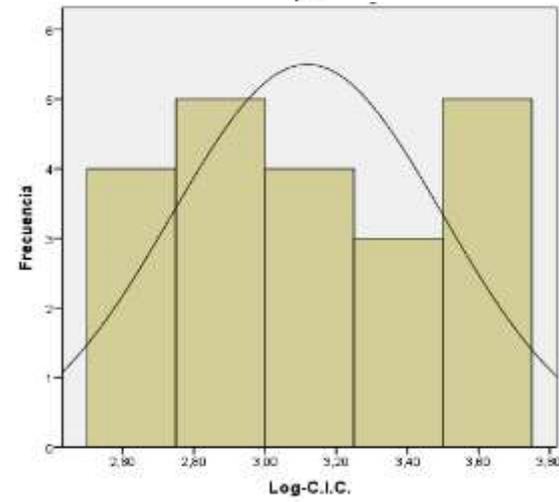
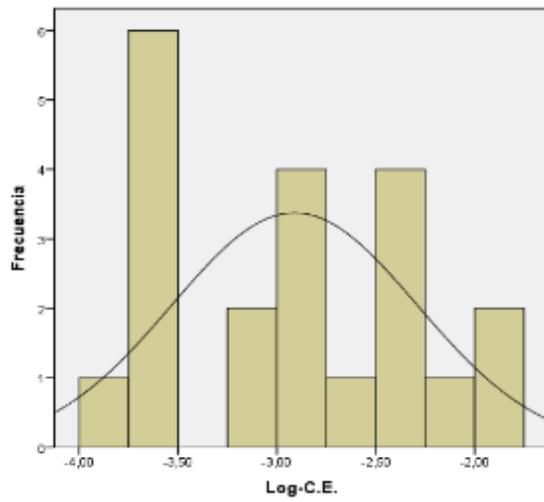
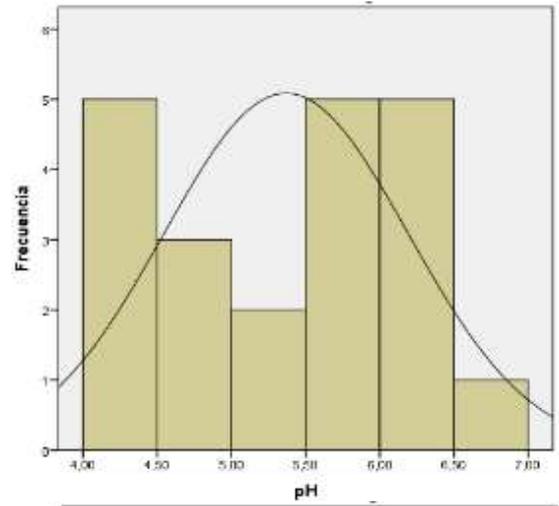
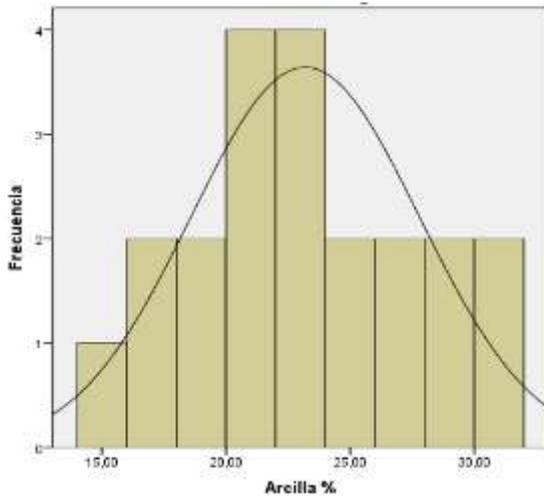
Por último, el contenido de fósforo (Tabla 4-9) presenta valores notoriamente heterogéneos los cuales estarían ligados a los procesos de meteorización de los minerales que comprenden este elemento, pudiendo presentarse de acuerdo a su origen en fósforo orgánico, presente en compuestos fosfatados de la materia orgánica (humus) y fósforo inorgánico, como parte de los minerales primarios (Mosquera Lenti, 2017).

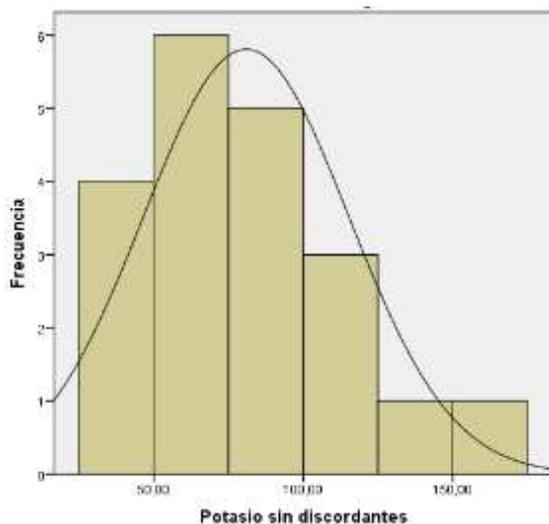
En la Figura 4-8 se muestran los histogramas de las propiedades fisicoquímicas del suelo, donde los contenidos de arena, limo, arcilla y pH presentan la línea de distribución normal; sin embargo, la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y fósforo presentan la línea de distribución normal al realizar la transformación logarítmica; y, por último, la normalidad del potasio al eliminar los valores discordantes.

**Figura 4-8**

*Histogramas de las propiedades fisicoquímicas del suelo*







Nota. Elaboración propia.

#### 4.2.4. Correlaciones estadísticas entre las propiedades fisicoquímicas del suelo

En esta sección analizaremos la correlación existente entre las propiedades fisicoquímicas del suelo consideradas en la presente investigación (arena, limo, arcilla, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, fosforo y potasio). Para ello, el coeficiente de Pearson corresponde a aquellas propiedades fisicoquímicas que tengan una distribución Normal; y el de Spearman, cuando presenten una distribución No Normal (Micó Llopis, 2005).

Considerando esta premisa, solo la arena, limo, arcilla y pH se corresponden con el coeficiente de Pearson, y las demás propiedades fisicoquímicas con el coeficiente de Spearman, tal como se detalla en la Tabla 4-12:

**Tabla 4-12***Correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo*

<b>Variables</b>		<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>	<b>pH</b>	<b>C.E.</b>	<b>C.I.C.</b>	<b>M.O.</b>	<b>Fosforo</b>	<b>Potasio</b>
Arena	r	1,000								
	P	-								
Limo	r	-0,432 <sup>*a</sup>	1,000							
	P	0,025	-							
Arcilla	r	-0,738 <sup>**a</sup>	-0,290 <sup>a</sup>	1,000						
	P	0,000	0,101	-						
pH	r	-0,187 <sup>a</sup>	0,248 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	1,000					
	P	0,209	0,139	0,478	-					
C.E.	r	-0,085 <sup>b</sup>	-0,054 <sup>b</sup>	0,079 <sup>b</sup>	0,828 <sup>**b</sup>	1,000				
	P	0,357	0,409	0,366	0,000	-				
C.I.C.	r	-0,108 <sup>b</sup>	-0,201 <sup>b</sup>	0,277 <sup>b</sup>	0,735 <sup>**b</sup>	0,756 <sup>**b</sup>	1,000			
	P	0,321	0,191	0,112	0,000	0,000	-			
M.O.	r	-0,051 <sup>b</sup>	-0,069 <sup>b</sup>	0,091 <sup>b</sup>	0,652 <sup>**b</sup>	0,774 <sup>**b</sup>	0,711 <sup>**b</sup>	1,000		
	P	0,413	0,383	0,347	0,001	0,000	0,000	-		
Fosforo	r	0,178 <sup>b</sup>	-0,157 <sup>b</sup>	-0,073 <sup>b</sup>	-0,548 <sup>**b</sup>	-0,571 <sup>**b</sup>	-0,609 <sup>**b</sup>	-0,376 <sup>*b</sup>	1,000	
	P	0,220	0,249	0,377	0,005	0,003	0,002	0,047	-	
Potasio	r	-0,198 <sup>b</sup>	-0,004 <sup>b</sup>	0,195 <sup>b</sup>	-0,019 <sup>b</sup>	0,081 <sup>b</sup>	0,090 <sup>b</sup>	0,183 <sup>b</sup>	0,226 <sup>b</sup>	1,000
	P	0,195	0,494	0,199	0,467	0,363	0,348	0,214	0,162	-

Nota. \* La correlación es significativa en el nivel 0,05. \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01. (r): Coeficiente de Correlación. (P): Coeficiente de Significación

<sup>a</sup> Coeficiente de Pearson. <sup>b</sup> Coeficiente de Spearman.

Elaboración propia.

En la Tabla 4-12 se muestra los resultados de las correlaciones para cada una de las propiedades fisicoquímicas del suelo, donde el pH, C.E., C.I.C., y la M.O., presentan una correlación positiva altamente significativa ( $P < 0,01$ ); no obstante, los contenidos de fosforo presentan una correlación negativa altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con las variables antes mencionadas.

El pH mostró una correlación positiva altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con la C.E., C.I.C., y la M.O., lo que indique que un aumento del valor de pH estaría relacionado con el aumento de sus contenidos en el suelo. El contenido de la M.O. y su composición aumentan la C.I.C., regula el pH, retiene la humedad y contribuye a la estabilidad de los suelos (Ruiz Olortino, 2016; Mosquera Lenti, 2017).

Por otra parte, la C.I.C. está condicionada por los intercambiadores como las arcillas y la M.O. (Mosquera Lenti, 2017); sin embargo, esta última presenta una correlación débil positiva ( $r = 0,277$ ) haciendo que la responsable de la mayor capacidad de cambio de cationes se deba a la M.O.

El fosforo presentó una correlación negativa altamente significativa con el pH, C.E., C.I.C. y en menor proporción con la M.O.; es decir que a medida que va disminuyendo su contenido, las demás propiedades fisicoquímicas del suelo van aumentando. El fosforo aumenta su biodisponibilidad a medida que va aumentando el pH y la M.O. (Mosquera Lenti, 2017).

Respecto al contenido de arena, esta presenta una correlación negativa altamente positiva ( $P < 0,01$ ) con el contenido de arcillas ( $r = -0,738$ ) y en menor proporción con el contenido de limo ( $r = -0,432$ ); lo que implica que los contenidos de arena tienen

poca importancia en los procesos de adsorción desde la dinámica de los metales pesados (Micó Llopis, 2005).

#### 4.2.1.4. Análisis factorial

A través del análisis factorial también se puede explicar las relaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo, donde se identifican los componentes principales que expliquen el porcentaje de varianza de cada uno de los mismos.

**Tabla 4-13**

*Análisis factorial para las propiedades fisicoquímicas del suelo*

Variables	Componentes Principales		
	Componente 1	Componente 2	Componente 3
C.E.	<b>0,905</b>	-0,012	0,088
pH	<b>0,898</b>	0,024	-0,271
C.I.C.	<b>0,877</b>	0,228	0,304
M.O.	<b>0,853</b>	0,148	0,342
Fosforo	<b>-0,670</b>	0,028	0,236
Arcilla	0,074	<b>0,938</b>	0,303
Arena	-0,078	<b>-0,915</b>	0,384
Limo	0,013	0,044	<b>-0,950</b>
Potasio	-0,017	-0,009	<b>-0,309</b>
Autovalor	3,717	1,696	1,550
Varianza Explicada	41,3 %	18,8 %	17,2 %

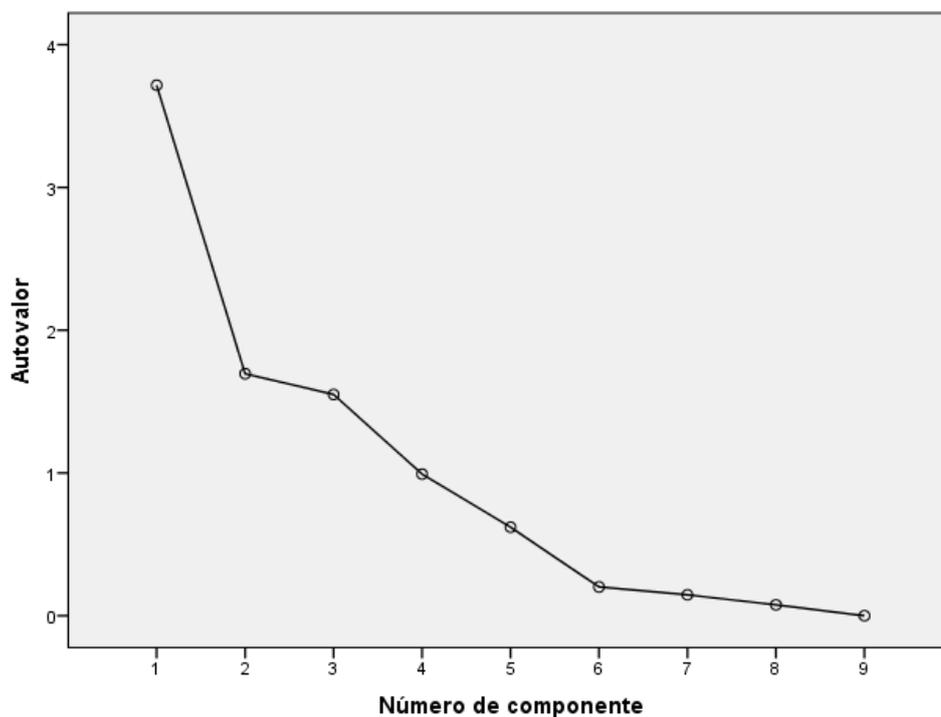
Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 4-13 podemos observar que el 77,3 % de la varianza puede ser explicada por tres componentes principales (Componente 1, Componente 2 y Componente 3), toda vez que se toman los autovalores mayores que 1 (Micó Llopis, 2005) y a pesar de

que esto conlleve a una pérdida de la capacidad explicativa, esta no sea significativa; además en la Figura 4-9 se muestra el gráfico de sedimentación el cual justifica el número óptimo de factores o componentes principales a considerar en el análisis estadístico.

**Figura 4-9**

*Gráfico de sedimentación para la selección de los componentes principales*



Nota. Elaboración propia.

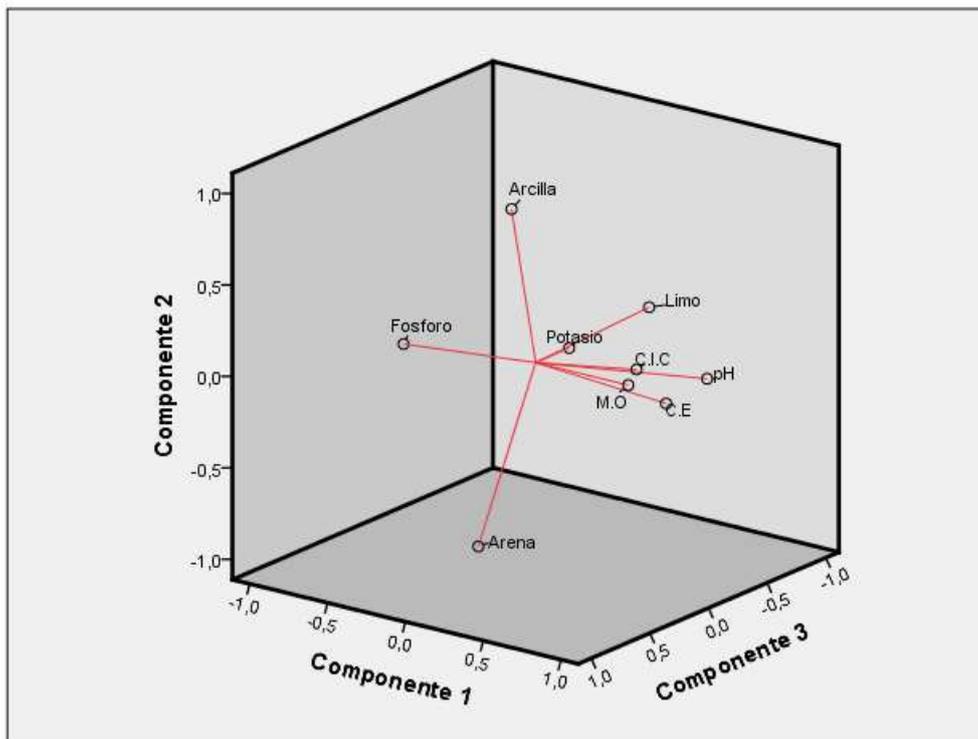
En la Figura 4-10 se muestra la representación gráfica de los diferentes componentes identificados, donde podemos observar que el Componente 1 explica el 41,3 % de la varianza los cuales están conformados por la C.E., pH, C.I.C., M.O., los cuales influyen positivamente en este grupo y estarían relacionados con los procesos de adsorción y movilidad de los metales pesados en el suelo; no obstante, el fosforo influye de manera negativa. Este análisis comprueba que estos parámetros guardan relación con lo indicado en la matriz de correlación.

El Componente 2 explica el 18,8 % de la varianza, donde se incluye el contenido de arcilla que influye de manera positiva y el contenido de arena que influye de manera negativa; lo que nos permite afirmar que este último presentaría una nula capacidad de adsorción de los metales pesados en el suelo (Micó Llopis, 2005).

Por último, el Componente 3 explica el 17,2 % de la varianza los cuales influyen de manera negativa los contenidos de limo y en menor medida el potasio; lo cual, concatenando con la matriz de correlación, se tiene que ambos contenidos tienen una nula correlación entre sí.

#### Figura 4-10

*Gráfico de componentes principales en espacio rotado*



Nota. Representación gráfica de los componentes principales para las propiedades fisicoquímicas del suelo.

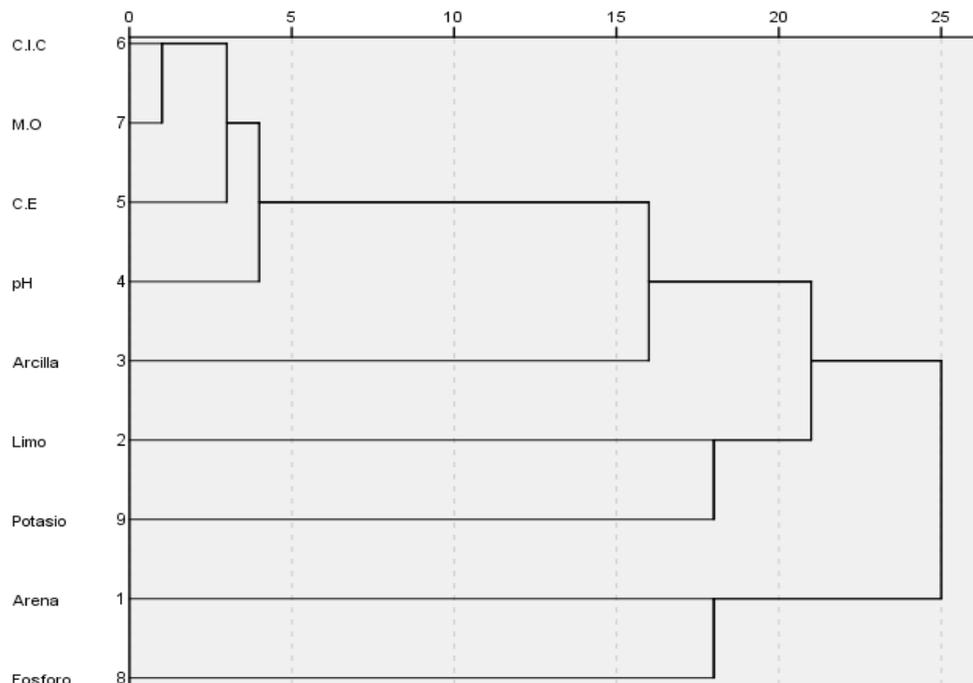
Elaboración propia

#### 4.2.4.2. Análisis clúster

En la Figura 4-11 podemos observar el dendrograma de las propiedades fisicoquímicas del suelo, donde podemos apreciar dos grupos bien diferenciados: el primer grupo comprende a la C.I.C., M.O., C.E., pH y los contenidos de arcilla (presentando un clúster individual), los cuales intervienen en los procesos de adsorción del suelo, así como en la movilidad de determinados metales pesados; por otro lado, los contenidos de limo y potasio se muestran en otro clúster que indican la menor correlación entre sí y una menor influencia sobre la movilidad de los metales pesados en el suelo. El segundo grupo está conformado por los contenidos de arena y fosforo siendo poco determinantes en la capacidad de adsorción del suelo.

**Figura 4-11**

*Dendrograma obtenido del análisis clúster para las propiedades fisicoquímicas del suelo*

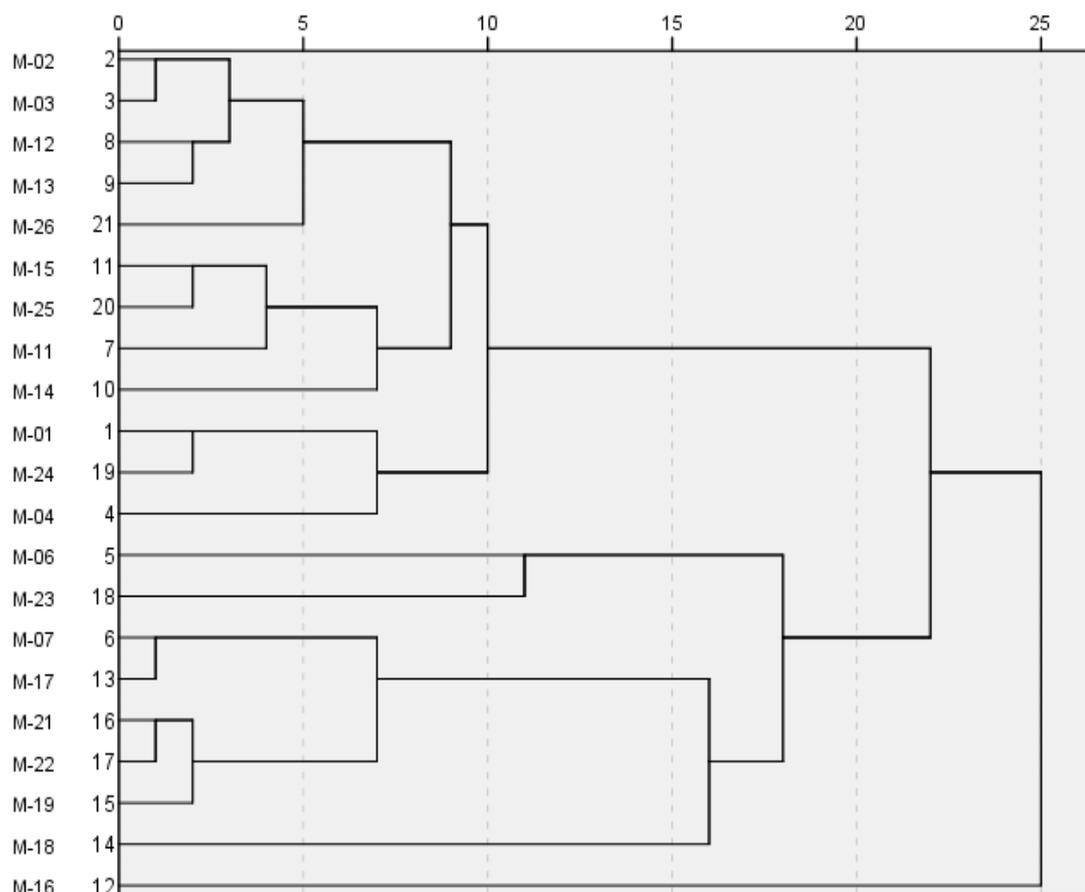


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 4-12 observamos los clústeres que conforman las veintiún (21) muestras analizadas en el área de estudio en función a las propiedades fisicoquímicas del suelo. La muestra M-16 presenta un clúster individual bien diferenciado, el cual se debe a que presenta la mayor concentración de potasio (424 ppm). Respecto a las demás muestras, presentan dos subdivisiones o subgrupos diferenciados, las cuales muestran la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas del suelo, aportes significativos de M.O., C.E., C.I.C. y arcilla; así como el clúster diferenciado de la muestra M-18 con el mayor porcentaje de arena en el área de estudio (62 %).

**Figura 4-12**

*Dendrograma obtenido del análisis clúster por puntos de muestreo*



Nota. Elaboración propia.

#### **4.2.5. Correlaciones estadísticas entre las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones totales de metales pesados en el suelo**

En la Tabla 4-14 se muestra los coeficientes de correlación ( $r$ ) y de significación ( $P$ ) entre los contenidos totales de metales pesados en el suelo de la ciudad de Cerro de Pasco y las propiedades fisicoquímicas del mismo. Teniendo en cuenta el tipo de distribución que presentan los datos, el coeficiente de Pearson corresponde a los contenidos de manganeso, plomo, zinc, arena, limo, arcilla y el pH; para el resto de variables analizadas les corresponde el coeficiente de Spearman.

**Tabla 4-14***Correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados*

Variables		Arena	Limo	Arcilla	pH	C.E.	C.I.C.	M.O.	Fosforo	Potasio
Al	r	-0,232 <sup>b</sup>	-0,118 <sup>b</sup>	0,314 <sup>b</sup>	0,645 <sup>**b</sup>	0,626 <sup>**b</sup>	0,779 <sup>**b</sup>	0,716 <sup>**b</sup>	-0,491 <sup>*b</sup>	0,272 <sup>b</sup>
	P	0,156	0,306	0,083	0,001	0,001	0,000	0,000	0,012	0,116
Ba	r	-0,262 <sup>b</sup>	-0,020 <sup>b</sup>	0,288 <sup>b</sup>	0,815 <sup>**b</sup>	0,760 <sup>**b</sup>	0,754 <sup>**b</sup>	0,830 <sup>**b</sup>	-0,510 <sup>**b</sup>	0,151 <sup>b</sup>
	P	0,126	0,466	0,103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,257
Cr	r	-0,076 <sup>b</sup>	0,240 <sup>b</sup>	-0,103 <sup>b</sup>	0,246 <sup>b</sup>	0,150 <sup>b</sup>	-0,130 <sup>b</sup>	0,160 <sup>b</sup>	0,029 <sup>b</sup>	-0,432 <sup>*b</sup>
	P	0,371	0,147	0,328	0,142	0,258	0,287	0,244	0,451	0,025
Cu	r	0,007 <sup>b</sup>	-0,098 <sup>b</sup>	0,065 <sup>b</sup>	0,787 <sup>**b</sup>	0,777 <sup>**b</sup>	0,658 <sup>**b</sup>	0,728 <sup>**b</sup>	-0,321 <sup>b</sup>	0,072 <sup>b</sup>
	P	0,488	0,336	0,390	0,000	0,000	0,001	0,000	0,078	0,378
Mn	r	0,227 <sup>a</sup>	-0,206 <sup>a</sup>	-0,087 <sup>a</sup>	-0,402 <sup>*a</sup>	-0,414 <sup>*b</sup>	-0,307 <sup>b</sup>	-0,497 <sup>*b</sup>	0,278 <sup>b</sup>	-0,010 <sup>b</sup>
	P	0,161	0,185	0,354	0,036	0,031	0,088	0,011	0,111	0,483
Pb	r	-0,108 <sup>a</sup>	0,180 <sup>a</sup>	-0,020 <sup>a</sup>	0,112 <sup>a</sup>	0,181 <sup>b</sup>	-0,031 <sup>b</sup>	-0,124 <sup>b</sup>	0,056 <sup>b</sup>	0,010 <sup>b</sup>
	P	0,321	0,218	0,465	0,315	0,216	0,447	0,296	0,405	0,482
Zn	r	-0,145 <sup>a</sup>	-0,324 <sup>a</sup>	0,397 <sup>*a</sup>	0,510 <sup>**a</sup>	0,563 <sup>**b</sup>	0,636 <sup>**b</sup>	0,559 <sup>**b</sup>	-0,226 <sup>b</sup>	0,405 <sup>*b</sup>
	P	0,265	0,076	0,038 <sup>a</sup>	0,009	0,004	0,001	0,004	0,162	0,034

Nota. \* La correlación es significativa en el nivel 0,05. \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01. (r): Coeficiente de Correlación. (P): Coeficiente de Significación.

<sup>a</sup> Coeficiente de Pearson. <sup>b</sup> Coeficiente de Spearman.

Elaboración propia.

La M.O. es la variable que más se relaciona con los metales pesados, teniendo una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc; no obstante, el manganeso presentó una correlación significativa ( $P < 0,05$ ) y en sentido negativo, respecto a los otros metales pesados. Estos coeficientes de correlación son altos, lo que podría atribuirse a la variabilidad que presenta este elemento en los suelos del área de estudio (Micó Llopis, 2005). Por otro lado, el plomo y cromo no presentan una correlación con la M.O., de la cual podemos inferir que su presencia pueda ser por afloramientos líticos presentes en el área de estudio expuestos a los procesos de meteorización, así como posibles aportes antropogénicos.

El pH presentó una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc; no obstante, el manganeso presentó una correlación negativa significativa ( $P < 0,05$ ). Los coeficientes de correlación elevados ( $r > 0,500$ ) indican la notable variabilidad del pH en los suelos del área de estudio que conlleva el paso de los metales pesados en formas solubles a formas insolubles con el aumento del pH (Micó Llopis, 2005); además, los rangos de pH obtenidos en el área de estudio (4,26 – 6,7) son de carácter ácido, debido a las altas precipitaciones que originan procesos intensos de alteración química y el lavado de bases en las zonas montañosas, así como las características mineralógicas del material predominante (May, 2015).

La C.E. presenta una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc, donde sus coeficientes de correlación presentan valores elevados, seguido del manganeso que presentó una correlación significativa ( $P < 0,05$ ). Esto quiere decir que la salinidad del suelo podría influir sobre la dinámica de estos metales,

donde no se favorecería su transferencia hasta otros compartimientos ambientales y no disminuirían sus contenidos totales en el suelo (Micó Llopis, 2005).

La C.I.C. está relacionado con los contenidos de M.O. y presenta una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc, donde sus coeficientes de correlación presentan valores elevados. No obstante, el plomo, manganeso y cobre no presentaron correlaciones con este elemento, lo que indicaría que sus concentraciones presentes en el suelo no se encontrarían reguladas del todo por los procesos de intercambio catiónico (Micó Llopis, 2005).

#### **4.2.5.1. Análisis factorial**

En la Tabla 4-15 podemos observar que el 83,8 % de la varianza puede ser explicada mediante cinco componentes o factores (Comp. 1, 2, 3, 4 y 5). El Componente 1 explica el 42,6 % de la varianza, donde están incluidos el pH, C.E., C.I.C., M.O., y fosforo (influye de manera negativa), además de los contenidos totales de bario, cobre, aluminio y zinc. El Componente 2 explica un 12 % de la varianza donde se incluye los contenidos de arcilla y arena. El Componente 3 explica un 11,7 % de la varianza donde interviene solo el contenido de limo. El Componente 4 explica el 8,4 % de la varianza el cual los contenidos de cromo, manganeso y de potasio.; y, por último, el Componente 5 explica el 7,5 % de la varianza con solo el contenido de plomo.

En la Figura 4-13 se muestra el gráfico de sedimentación que justifica el número óptimo de componentes principales a considerar en el análisis estadístico; además, en la Figura 4-14 se muestra la proyección gráfica de los componentes evaluados donde se observa dos grupos diferenciados.

El primer grupo se ubica hacia el lado derecho al plano conformado por las variables del Componente 1 que indican una mayor correlación entre el contenido de metales pesados y las propiedades fisicoquímicas del suelo y estarían relacionados a la dinámica natural del suelo. El Componente 2 en menor proporción, aporta a la distribución y variabilidad de los metales pesados en el suelo del área de estudio. El segundo grupo comprende las demás variables de los componentes principales restantes que presentan una menor correlación entre sí.

**Tabla 4-15**

*Análisis factorial entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados*

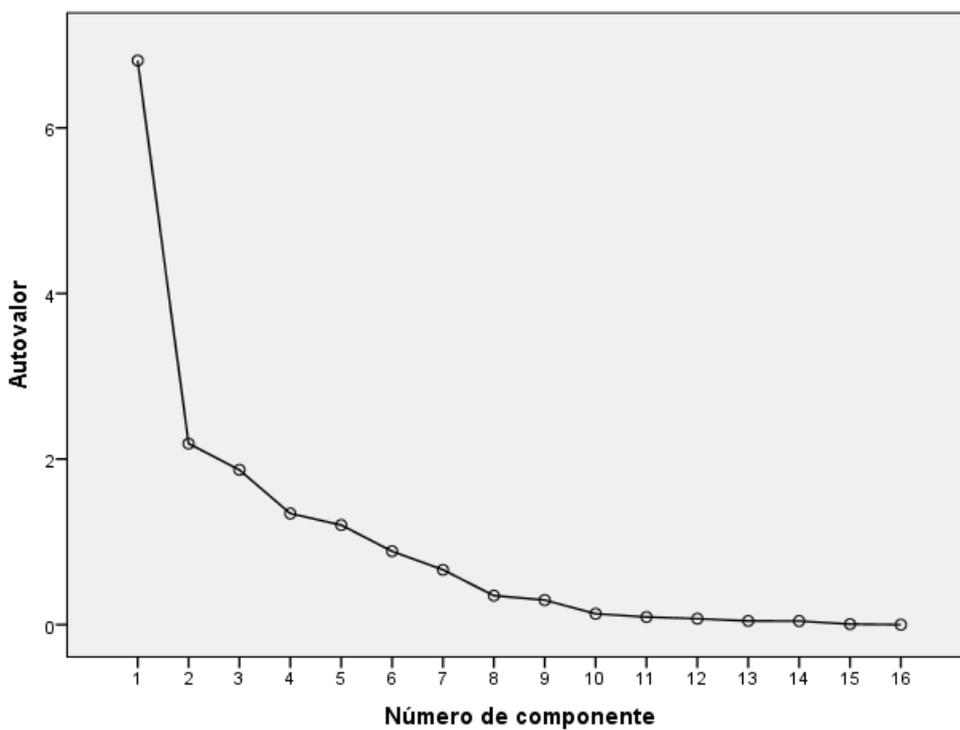
Variables	Componentes Principales				
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5
Bario	<b>0,944</b>	0,246	-0,043	-0,008	-0,087
M.O.	<b>0,926</b>	0,050	-0,053	-0,111	-0,139
C.I.C.	<b>0,920</b>	0,159	-0,032	-0,029	-0,164
Cobre	<b>0,906</b>	-0,185	-0,027	0,162	0,110
Aluminio	<b>0,858</b>	0,310	-0,074	0,013	0,016
C.E.	<b>0,839</b>	-0,082	0,185	-0,093	0,034
pH	<b>0,817</b>	-0,067	0,481	0,042	0,126
Zinc	<b>0,774</b>	0,218	-0,269	-0,047	0,297
Fosforo	<b>-0,485</b>	0,024	-0,470	-0,036	0,328
Arcilla	0,228	<b>0,909</b>	-0,260	-0,054	-0,045
Arena	-0,048	<b>-0,904</b>	-0,391	0,055	-0,093
Limo	-0,236	0,068	<b>0,903</b>	-0,005	0,192
Potasio	-0,010	-0,090	0,031	<b>-0,728</b>	0,354

Variables	Componentes Principales				
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5
Cromo	0,204	-0,339	0,385	<b>0,726</b>	0,157
Manganeso	-0,391	-0,051	-0,399	<b>0,645</b>	0,238
Plomo	0,040	0,026	0,108	-0,054	<b>0,841</b>
Autovalor	6,814	2,186	1,869	1,342	1,203
Varianza Explicada	42,6 %	13,6 %	11,7 %	8,4 %	7,5 %

Nota: Elaboración propia.

**Figura 4-13**

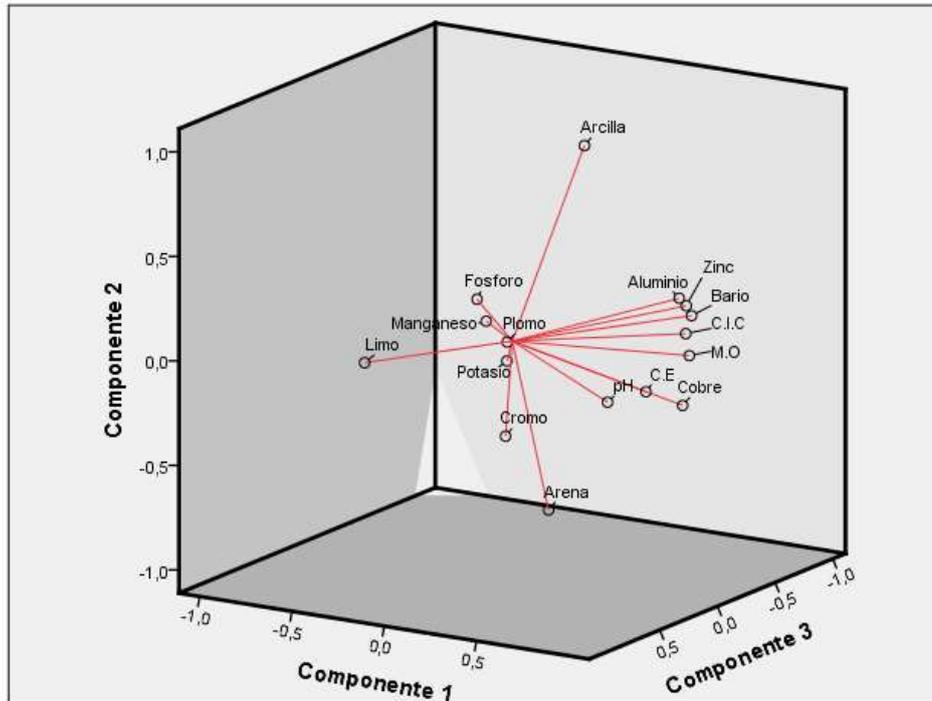
*Gráfico de sedimentación para la selección de los componentes principales*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 4-14**

*Gráfico de componentes principales en espacio rotado*



Nota. Representación gráfica de los componentes principales para los contenidos totales de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos del suelo.  
Elaboración propia.

#### **4.2.5.2. Análisis clúster**

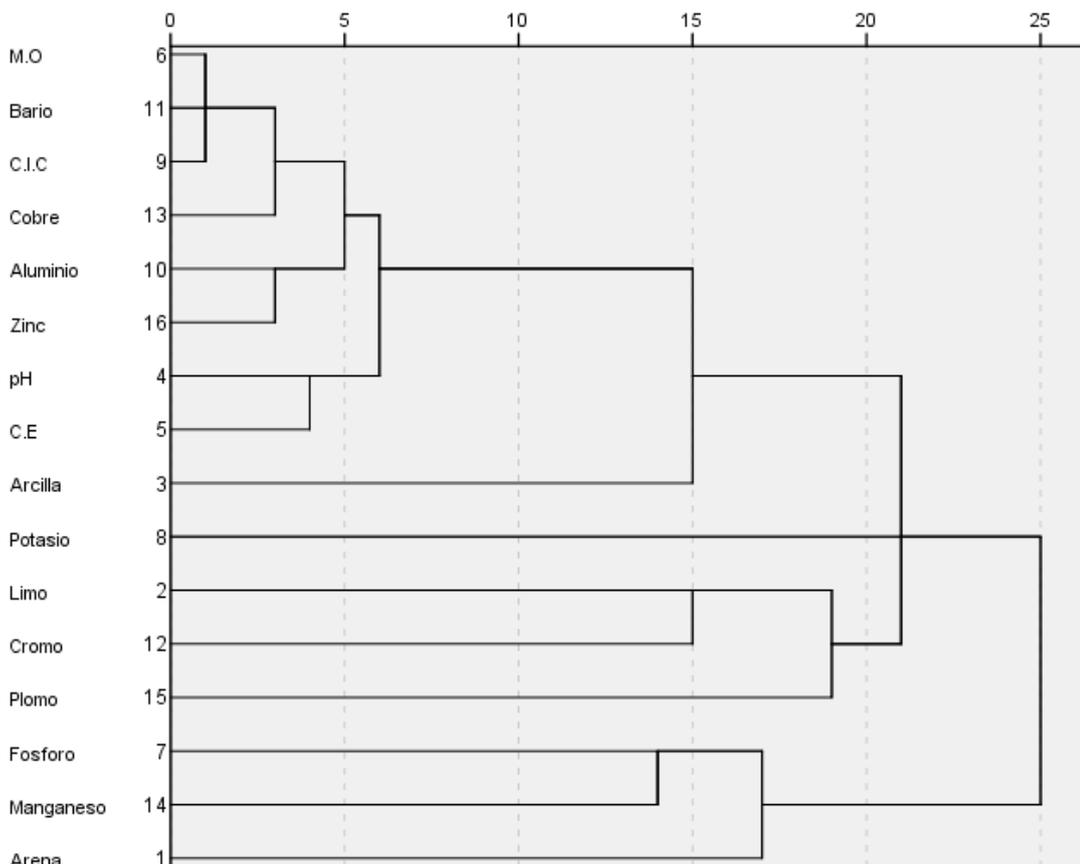
Producto del análisis clúster de las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de los metales pesados, obtenemos el dendrograma en el cual se observa la formación de dos (02) grupos diferenciados (ver Figura 4-15):

El primer grupo está conformado por las propiedades fisicoquímicas del suelo (M.O., C.I.C., pH y C.E.) que son más relevantes en los procesos de adsorción de los metales pesados del área de estudio y presentan una mayor correlación con los mismos, junto a los contenidos de arcilla, potasio, limo, cromo y plomo, sin perjuicio de que se desliguen formando un subconjunto. El segundo grupo está conformado por los

contenidos de fosforo, manganeso y arena, siendo estas variables las que menor correlación han presentado en el análisis estadístico.

**Figura 4-15**

*Dendrograma obtenido del análisis clúster entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los contenidos totales de metales pesados*



Nota. Elaboración propia.

### **4.3. Propiedades fisicoquímicas del suelo que intervienen sobre los niveles de referencia para los metales pesados**

#### **4.3.1. Rectas de regresión lineal**

A fin de conocer que propiedades fisicoquímicas del suelo influyen sobre los contenidos totales de metales pesados en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de

Pasco, se aplican las rectas de regresión lineal considerando los coeficientes de regresión (R) y de determinación ( $R^2$ ); dando a conocer si estas variables independientes (propiedades fisicoquímicas del suelo) explican el comportamiento de los metales pesados debido a su grado de correlación.

Para ello se consideran todas las variables en el análisis y aquellas que no alcanzaron una distribución normal se han considerado su transformación logarítmica hasta alcanzar la normalidad; tal es el caso del aluminio (Log-Al), Cobre (Log-Cu), la C.E. (Log-C.E.), la C.I.C (Log-CIC), la M.O. (Log-M.O.) y fosforo (Log-P). Además, se ha incluido en el análisis aquellas variables que se han tenido una distribución normal con la eliminación de los valores discordantes; como el caso de cromo y potasio.

En la Tabla 4-16 se puede observar que los parámetros fisicoquímicos que más participan en las rectas de regresión son la C.I.C., la M.O. y el pH, en orden decreciente. El contenido de M.O. permite explicar los contenidos de bario, cobre y manganeso debido a su predominancia y su importancia en la dinámica de estos metales pesados (Micó Llopis, 2005); además de presentar una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con la C.I.C y el pH los cuales estabilizan los suelos e influyen en la movilidad y/o retención de algunos de estos metales pesados en el suelo (Ruiz Olortino, 2016; Mosquera Lenti, 2017). En pH interviene en las ecuaciones para los contenidos de cromo y cobre; así como la C.I.C. interviene en las ecuaciones para los contenidos de aluminio, bario, cromo y zinc.

**Tabla 4-16***Rectas de regresión lineal múltiple*

<b>Metal</b>	<b>Recta de regresión</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Aluminio	Al-T= 7,71 + 0,7 Log-CIC	0,775	0,600
Bario	Ba-T= -245 + 74,6 Log-CIC + 86 Log-MO	0,933	0,871
Cromo	Cr-T= 13,9 + 25,2 pH – 39,5 Log-CIC	0,680	0,463
Cobre	Cu-T= 0,21 + 0,53 Log-MO + 0,3 pH	0,844	0,712
Manganeso	Mn-T= 726,2 – 228,64 Log-MO	0,529	0,280
Plomo	Pb-T= 45,2 + 3,3 Log-CE	0,189	0,036
Zinc	Zn-T= -74,39 + 49,4 Log-CIC	0,686	0,471

Nota: Las rectas de regresión muestran la influencia de los parámetros fisicoquímicos del suelo sobre los contenidos totales de los metales pesados, así como los Coeficientes de Regresión (R) y Determinación (R<sup>2</sup>)

Elaboración propia.

Respecto a los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) de las rectas de regresión, podemos observar que el manganeso, plomo, cromo y zinc presentaron los valores más bajos (R<sup>2</sup><0,500); dando a entender que existe la posibilidad que otras variables no consideradas en las rectas de regresión explicarían y/o tendrían una mayor influencia sobre la variabilidad de estos metales pesados (Micó Llopis, 2005).

#### **4.3.2. Niveles de referencia**

Para establecer los niveles de referencia, se empleó el método de ecuaciones lineales el cual permite definir valores de referencia específicos de un área de estudio (Micó Llopis, 2005; Rueda Saa *et al.*, 2011). Este método considera inicialmente las rectas de regresión simple entre los metales pesados y las propiedades fisicoquímicas del suelo; específicamente aquellas predominantes y que tienen gran aporte, influyen y/o condicionan los contenidos totales de los metales pesados.

En la Tabla 4-17 observamos que los aportes individuales de C.I.C., M.O. y pH tienen una correlación significativa que varía para cada metal pesado; siendo en algunos casos nula para otros metales (cromo, manganeso y plomo). Para estos casos donde no se tiene una correlación significativa, existe la posibilidad que otras variables tengan una mayor importancia sobre la variabilidad de estos metales pesados en el suelo.

**Tabla 4-17**

*Rectas de regresión lineal simple para cada metal pesado*

Metal	C.I.C.		M.O.		pH	
	(r)	Recta	(r)	Recta	(r)	Recta
Al	0,779**	7,7 + 0,7 CIC	0,716**	9,25 + 0,46 MO	0,645**	8,37 + 0,29 pH
Ba	0,754**	-0,258 + 1,51 CIC	0,830**	2,79 + 1,18 MO	0,815**	0,76 + 0,69 pH
Cr <sup>a</sup>	-0,130	-	0,160	-	0,246	-
Cu	0,658**	-0,29 + 0,93 CIC	0,728**	1,4 + 0,86 MO	0,787**	-0,39 + 0,56 pH
Mn	-0,307	-	-0,497*	726,2 – 228,6 MO	-0,402*	1023 – 115 pH
Pb <sup>a</sup>	-0,031	-	-0,124	-	0,112	-
Zn	0,636**	-68,87 + 47,9 CIC	0,559**	38,7 + 29,9 MO	0,510**	-9,78 + 16,84 pH

Nota. (r): Coeficiente de correlación. \* Significativa en el nivel 0,05. \*\* Significativa en el nivel 0,01.

<sup>a</sup> La correlación es nula o no significativa con la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y el pH del suelo.

Elaboración propia.

La M.O. presentó una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos de aluminio, bario, cobre, zinc, y en menor proporción una correlación negativa con los contenidos de manganeso. El mismo caso se dio para la C.I.C., excepto que no se tiene una correlación significativa (nula) con los contenidos de cromo, manganeso y plomo; por último, el pH presenta el mismo caso que la M.O.

El manganeso presenta una correlación negativa significativa ( $P < 0,05$ ) con los contenidos de M.O. y pH, sin perjuicio que sus coeficientes de correlación sean bajos; no obstante, su relación indica que estas variables no aportarían o explicarían directamente sobre sus contenidos totales en el suelo, sino en la disminución debido a su relación negativa, así como su variabilidad en el suelo que sería influenciada y/o explicada por otras variables.

De acuerdo con Micó Llopis (2005), estas rectas de regresión simple se emplean para obtener las ecuaciones lineales a fin de determinar los niveles de referencia de los metales pesados; donde el nivel de fondo está considerado como una constante dentro de estas ecuaciones según la distribución estadística que presenten y los coeficientes de estas ecuaciones estarían dadas por las pendientes de las rectas de regresión simple.

La metodología por IHOBE (1998) indica si al existir una correlación de un metal con un componente o variable (en este caso con las propiedades fisicoquímicas del suelo), el coeficiente de la ecuación lineal coincide con la pendiente de la regresión lineal simple obtenida. No obstante, en caso de que un metal presente correlación con dos o más componentes o variables, se tendrá que dividir los coeficientes de la regresión lineal simple obtenida con su factor de contribución; es decir, con el número de variables consideradas en el análisis dado que el metal es dependiente a partes iguales de estas variables (Micó Llopis, 2005).

Para los casos en que no se obtenga una correlación estadísticamente significativa entre el contenido de metales y las propiedades fisicoquímicas del suelo, se puede usar la expresión  $NR = \bar{X} + nDE$  (Brizuela & Jiménez, 2012) la cual corresponde al cálculo de los niveles de referencia a través del método de estadísticos descriptivos; donde

" $\bar{X}$ " es el nivel de fondo calculado de acuerdo a su distribución estadística (media aritmética, media geométrica, mediana), "n" viene a ser el número de desviaciones estándar, generalmente es igual a 2 (al 95 % población de fondo) o 3 (99,7 % población de fondo) y "DE" la desviación estándar (Brizuela & Jiménez, 2012; Micó Llopis, 2005).

Para fines de la presente investigación, se aplicó esta expresión para los contenidos totales de cromo, manganeso y plomo; toda vez que no presentaron una correlación estadísticamente significativa con las propiedades fisicoquímicas evaluadas en la Tabla 4-17. Asimismo, en la Tabla 4-18 se puede observar las ecuaciones lineales para cada uno de los metales pesados evaluados en el área de estudio y los niveles de referencia calculados a partir de estas, para lo cual se ha definido un suelo estándar con valores medios para M.O. de 5 %, pH de 5 y C.I.C. de 24 meq/100g acorde al muestreo realizado.

Paralelamente, se generó una segunda ecuación en la cual se ha considerado como nivel de fondo los valores obtenidos del cálculo del UCL95, por ser un valor estadísticamente robusto de acuerdo a la distribución de los metales pesados. De los resultados obtenidos, se propone como niveles de referencia los valores obtenidos a partir del cálculo del UCL95 como nivel de fondo; toda vez que presenta un mejor ajuste acorde a la distribución estadística que presentan las concentraciones de los metales pesados en el suelo del área de estudio, así como el aporte y/o influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

**Tabla 4-18**

*Niveles de Referencia propuestos para metales pesados*

Metales Totales	Nivel de Fondo		Ecuaciones Lineales	Nivel de Referencia (mg/kg)
	Método	Valor (mg/kg)		
Aluminio	Estadístico Descriptivo	19 982	$19\ 982 + 0,23\ \text{CIC} + 0,15\ \text{MO} + 0,1\ \text{pH}$	19989
	UCL95	24 432	$24\ 432 + 0,23\ \text{CIC} + 0,15\ \text{MO} + 0,1\ \text{pH}$	24439
Bario	Estadístico Descriptivo	69	$69 + 0,5\ \text{CIC} + 0,39\ \text{MO} + 0,23\ \text{pH}$	84
	UCL95	146	$146 + 0,5\ \text{CIC} + 0,39\ \text{MO} + 0,23\ \text{pH}$	161
Cromo <sup>a</sup>	Estadístico Descriptivo	17	$17 + 2\ \text{DE}$	24
	UCL95	19*	$19 + 2\ \text{DE}$	26
Cobre	Estadístico Descriptivo	13	$13 + 0,31\ \text{CIC} + 0,29\ \text{MO} + 0,19\ \text{pH}$	23
	UCL95	19*	$19 + 0,31\ \text{CIC} + 0,29\ \text{MO} + 0,19\ \text{pH}$	29
Manganeso <sup>a</sup>	Estadístico Descriptivo	405	$405 + 2\ \text{DE}$	877
	UCL95	494	$494 + 2\ \text{DE}$	966
Plomo <sup>a</sup>	Estadístico Descriptivo	36	$36 + 2\ \text{DE}$	58
	UCL95	40	$40 + 2\ \text{DE}$	62
Zinc	Estadístico Descriptivo	81	$81 + 15,97\ \text{CIC} + 9,97\ \text{MO} + 5,6\ \text{pH}$	542
	UCL95	91	$91 + 15,97\ \text{CIC} + 9,97\ \text{MO} + 5,6\ \text{pH}$	552

Nota. Ecuaciones lineales propuestas para determinar los Niveles de Referencia de los metales pesados en el área de estudio, adyacente a la ciudad de Cerro de Pasco.

<sup>a</sup> Para este elemento se consideró la expresión  $NR = \bar{X} + nDE$  al 95 % de la población de los datos, donde DE: Desviación estándar y  $\bar{X}$  el Nivel de Fondo.

\*UCL95 calculado sin los valores discordantes.

Elaboración propia.

Es preciso indicar que la metodología empleada supone un suelo estándar el cual represente a toda la población del área de estudio o sea representativo (Micó Llopis, 2005). Esto también conlleva a una dificultad a la hora de realizar una aproximación que involucre todas las propiedades fisicoquímicas del suelo que sean relevantes, dado su relación con los metales pesados y la variedad de factores que puedan intervenir en el suelo. No obstante, representa una ventaja para determinar niveles de referencia específicos, donde se presenten condiciones similares y/o presenten similitud en la predominancia de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Brizuela & Jiménez (2012), indican que cuando exista una variedad litológica en el área de estudio, el método podría aplicarse estructurando los datos según la geología y los resultados expresarse de manera específica para cada unidad litológica presente. En el Anexo 6 se muestra la distribución espacial de los contenidos totales de los metales pesados evaluados en el área de estudio en contraste con los niveles de referencia obtenidos para cada uno de ellos.

## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Determinación de los niveles de fondo

Las concentraciones totales de aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc fueron sometidos a un tratamiento estadístico, donde los contenidos totales de cromo y cobre presentaron valores discordantes, indicando una mayor variabilidad en su distribución espacial en el suelo. Micó Llopis (2005) en su investigación determinó valores discordantes para los contenidos totales de cobre, cromo y plomo en el suelo, el cual asocia sus aportes por las actividades antrópicas que afecten a las parcelas evaluadas.

Los niveles de fondo para aluminio fueron calculados a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95, obteniendo valores de 19 982 y 24 432 mg/kg, respectivamente, los cuales son menores a la concentración natural o *background* obtenida por Sánchez Puentes (2017) de 34 921 mg/kg; pudiendo deberse a que los suelos evaluados corresponden a una zona de transición entre la zona hiperárida y zona mediterránea semiárida de la región de Atacama (Chile) con condiciones salinas predominantes. Sin embargo, son concordantes con los resultados obtenidos por OEFA (2016), que determinó los niveles de fondo para el aluminio a partir del UCL95 con valores de 13 244 y 26 178 mg/kg provenientes de las asociaciones de suelo tipo Regosol dístico – Cambisol dístico y Leptosol dístico – Andosol vítrico respectivamente, en la subcuenca del río San Juan, provincia y departamento de Pasco, donde se sitúa también el área de estudio y los suelos evaluados presentan similitud entre sí.

Los niveles de fondo para bario fueron de 69 y 146 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente; no obstante, estos valores son inferiores a los establecidos por Ames & Prych (1995) que determinan un valor de 760 mg/kg a partir del cálculo del Percentil 90. Una posible explicación a esto es la diferencia de los suelos donde se realizó la evaluación; toda vez que los suelos del estado de Washington presentaron una mayor variabilidad dado que abarcaron 12 diferentes regiones cuyos suelos presentaron aportes por sedimentos marinos y continentales, depósitos glaciares, materiales sedimentarios, entre otros.

El cromo presentó niveles de fondo de 17 y 19 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente, los cuales coinciden con los niveles de fondo propuestos por OEFA (2016) a partir del cálculo del UCL95 para los dos (02) tipos de suelo con 16,7 y 19,49 mg/kg, siendo evidente las similitudes de los suelos para las 2 áreas de estudio. No obstante, difieren al valor propuesto por Micó Llopis (2005) de 26 mg/kg para los suelos hortícolas de la provincia de Alicante y los valores de 39,4 y 47,9 mg/kg propuestos por Dos Santos & Alleoni (2013) obtenidos a través de los métodos analíticos por agua regia y EPA 3051 para los suelos de Mato Grosso y Rondonia, donde predominan suelos de tipo Oxisols (expuestos a intensos procesos de meteorización y lavado), así como suelos Ultisols (donde predominan altas precipitaciones y se mantiene el porcentaje de saturación de bases).

El cobre presentó niveles de fondo de 13 y 19 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente, los cuales son menores a los propuestos por OEFA (2016) donde se obtuvo un valor de 33,21 mg/kg para los suelos de tipo Regosol dístico – Cambisol dístico, a partir del cálculo del

UCL95. Lv *et al*, (2015) postula niveles de fondo para este metal entre 22,97 y 20,25 mg/kg para el *topsoil* y *subsoil*, respectivamente, en los suelos de la región Ju (China) los cuales han sido asociados con actividades agrícolas tradicionales y han sufrido una rápida transición hacia el desarrollo de actividades industriales y son próximos a los resultados de Mirzaei (2014), quien determinó niveles de fondo para cobre de 23,9 mg/kg para los suelos de la provincia de Golestan (Iran). Asimismo, Micó Llopis (2005) obtuvo un valor de 21 mg/kg y Dos Santos & Alleoni (2013) obtuvieron valores de 39,4 y 47,9 mg/kg a partir los métodos analíticos por agua regia y EPA 3051. No obstante, Quiroz Ramírez (2011) reportó un nivel de fondo para cobre de 1,48 mg/kg el cual es el más bajo en relación a los otros autores, dado que el área de estudio corresponde a la microcuenca Picuroyacu situado en la región Selva Alta del Perú donde la mineralización difiere de los suelos de la región Andina; y en contraparte, los niveles de fondo más elevados corresponden a los propuestos por Sánchez Puentes (2017) con un valor límite de 587,56 mg/kg, seguido por OEFA (2016) para los suelos de tipo Leptosol dístico – Andosol vítrico con un valor de 290,9 mg/kg pudiendo atribuirse a la alta mineralización de los suelos área de estudio y la predominancia de afloramientos líticos expuestos a meteorización.

El manganeso presentó niveles de fondo de 405 y 494 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente; los cuales son cercanos a los propuestos por Micó Llopis (2005) con un valor de 304 mg/kg; OEFA (2016) a partir del cálculo del UCL95 obtuvo un valor de 591,5 para los suelos de tipo Regosol dístico – Cambisol dístico; y Lv *et al*, (2015) con un valor de 598,65 para el *topsoil* de los suelos de la región Ju (China). No obstante, los valores más altos fueron reportados por Sánchez Puentes (2017) con un valor de 2 007 mg/kg en la región de

Atacama (Chile); OEFA (2016) reportó un valor de 736,7 mg/kg para los suelos de tipo Leptosol dístico – Andosol vítrico al igual que Lv *et al*, (2015) con un valor de 775,56 mg/kg para el *subsoil* de los suelos de la región Ju (China), donde este último determina la influencia geogénica al presentar valores superiores a medida que aumenta la profundidad del suelo.

El plomo presentó niveles de fondo de 36 y 40 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente; los cuales son próximos a los propuestos por Sánchez Puentes (2017) con un valor de 78,29 mg/kg; Lv *et al*, (2015) con valores de 28,40 y 25,63mg/kg para el *topsoil* y *subsoil* en los suelos de la región Ju (China); Mirzaei (2014) con un valor de 15,42 mg/kg para los suelos de la provincia de Golestan (Iran); Micó Llopis (2005) con un valor de 18 mg/kg para los suelos agrícolas de la provincia de Alicante; Dos Santos & Alleoni (2013) con valores de 15,4 y 8,1 mg/kg obtenidos a través de los métodos analíticos por agua regia y EPA 3051. Sin embargo, Quiroz Ramírez (2011) presentó un valor de 3,4 mg/kg, siendo el más bajo respecto de los otros autores.

Por último, el zinc presentó niveles de fondo de 81 y 91 mg/kg calculado a través de los parámetros estadísticos descriptivos y el UCL95 respectivamente; siendo próximos a los reportados por Micó Llopis (2005) con un valor de 53 mg/kg; Lv *et al*, (2015) con valores de 65,81 y 60,89 mg/kg para el *topsoil* y *subsoil* en los suelos de la región Ju (China) y Mirzaei (2014) con un valor de 82,08 mg/kg para los suelos de la provincia de Golestan (Iran). Quiroz Ramírez (2011) presentó un valor de 2,23 mg/kg, siendo el más bajo respecto de los otros autores; seguido de Dos Santos & Alleoni (2013) con valores de 22,4 y 6,8 mg/kg obtenidos a través de los métodos analíticos

por agua regia y EPA 3051. No obstante, OEFA (2016) obtuvo a partir del cálculo del UCL95 valores de 156,1 y 151,7 mg/kg provenientes de las asociaciones de suelo tipo Regosol dístico – Cambisol dístico y Leptosol dístico – Andosol vítrico, respectivamente; siendo los más elevados respecto a otros autores debido a que estos suelos presentan una mayor mineralización por la presencia de yacimientos que contienen a este mineral.

## **5.2. Relación entre los contenidos totales de metales pesados y las propiedades fisicoquímicas del suelo**

Se establecieron correlaciones estadísticas entre los contenidos totales de aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc, junto a las propiedades fisicoquímicas del suelo del área de estudio en Cerro de Pasco; tales como el pH, C.E., C.I.C., M.O., fósforo, potasio y los contenidos de arena, limo y arcilla. Se empleó el coeficiente de Pearson a los contenidos de manganeso, plomo, zinc, arena, limo, arcilla y el pH, toda vez que presentaron una distribución Normal; y para el resto de variables analizadas se aplicó el coeficiente de Spearman, dado que presentaron una distribución No Normal. Sin embargo, Mico Llopis (2005) aplicó el coeficiente de Spearman para el cadmio, cobre, plomo, pH, C.E. (estrato saturado) y arena; asimismo, para los contenidos de cobalto, cromo, hierro, manganeso, níquel, zinc, M.O., CaCO<sub>3</sub>, C.I.C., limo y arcilla, se aplicó el coeficiente de Pearson, siendo esta diferencia debido a que los suelos evaluados son propios del mediterráneo con un elevado contenido en carbonato cálcico y bajo porcentaje de M.O.; diferenciándose notoriamente de los suelos Altoandinos del Perú, específicamente del área de estudio los cuales presentan una fuerte mineralización y ausencia de carbonatos por el pH ácido del suelo.

La M.O. presentó una mayor correlación positiva altamente significativa con el aluminio, bario, cobre y zinc, excepto para el manganeso que presentó una correlación negativa; además, los contenidos de plomo y cromo no presentaron una correlación con la M.O. por lo que su baja correlación pueda deberse a los aportes de los afloramientos líticos expuestos a los procesos de meteorización, como también por posibles aportes antrópicos. Esto concuerda con los resultados de Micó Llopis (2005) quien también presentó un coeficiente débil con el plomo además del cobre, atribuyéndose esta baja correlación a un origen antrópico. Lv *et al.*, (2015) obtuvo una alta correlación de la M.O. con los contenidos totales de cadmio, cobre y mercurio ( $P < 0,01$ ) dándose un gran poder de adsorción hacia estos metales.

El pH presentó una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc; no obstante, el manganeso presentó una correlación negativa significativa ( $P < 0,05$ ). Estos resultados discrepan con los de Lv *et al.*, (2015) los cuales mostraron una correlación positiva significativa para los contenidos totales de cadmio, cobalto, cromo, manganeso, níquel y vanadio ( $P < 0,01$ ), determinando que el pH es un factor esencial que influye en la movilidad catiónica de estos metales pesados en el suelo. Micó Llopis (2005) obtiene una correlación negativa con los contenidos totales de cobalto, hierro y níquel, debido al estrecho rango de variación del pH.

La C.E. presenta una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc, donde sus coeficientes de correlación presentan valores elevados, seguido del manganeso que presentó una correlación significativa ( $P < 0,05$ ). Estos resultados difieren con los obtenidos por Micó Llopis (2005), donde solo obtiene una correlación negativa y altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el cobre, sin perjuicio de

que el coeficiente de correlación es bajo ( $r = -0,349$ ); además, debido al aumento de la salinidad en el suelo en los suelos agrícolas de la provincia de Alicante se favorecería la transferencia del cobre en el suelo, conllevando su disminución de los contenidos totales.

La C.I.C. está relacionado con los contenidos de M.O. y presenta una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con el aluminio, bario, cobre y zinc, donde sus coeficientes de correlación presentan valores elevados; sin embargo, el plomo, manganeso y cobalto no presentaron correlaciones con este elemento. Micó Llopis (2005) mostró una correlación positiva altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos totales de cobalto, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc; lo que indica que las concentraciones de estos metales se encontrarían reguladas por los procesos de intercambio catiónico.

Por otro lado, los contenidos de arena, limo y arcilla presentaron una débil y/o nula correlación con la mayoría de los metales pesados evaluados, lo que indica que no participan en los procesos de adsorción para la mayoría de los metales evaluados. Caso contrario sucede con los resultados de Micó Llopis (2005), donde la arcilla presentó una correlación positiva y altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos totales de cobalto, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc, influyendo sobre los procesos de adsorción de estos metales pesados. Por lo tanto, para aquellos metales que presentaron una falta de correlación se indicarían una mayor biodisponibilidad de los mismos, así como su aporte al suelo procedente de actividades antrópicas (Micó Llopis, 2005). Es importante tener en cuenta la predominancia de las propiedades fisicoquímicas del suelo, las cuales condicionan e influyen sobre los procesos de

retención y/o movilización de los metales pesados en el suelo, su comportamiento y disponibilidad.

### **5.3. Determinación de los niveles de referencia**

Los niveles de referencia para los contenidos totales de aluminio (19 989 – 24 439 mg/kg), bario (84 – 161 mg/kg), cromo (24 - 26 mg/kg), cobre (23 - 29 mg/kg), manganeso (877 - 966 mg/kg), plomo (58 – 62 mg/kg) y zinc (542 – 552 mg/kg), se obtuvieron a través del método de ecuaciones lineales (considerando como nivel de fondo estadísticos descriptivos y el UCL95, respectivamente) teniendo en cuenta un suelo estándar con contenidos de 5 % de M.O., 5 de pH y 24 meq/100g de C.I.C.; sin embargo, estos resultados difieren de otras investigaciones como la de Micó Llopis (2005) quien define a los suelos agrícolas de la provincia de Alicante como un suelo estándar de 2 % de M.O., 30 % de arcilla y 50 % de carbonatos, además de aplicar el método de ecuaciones lineales para determinar los niveles de referencia para el manganeso (289 mg/kg), zinc (81 mg/kg), cromo (36 mg/kg), cobre (28 mg/kg) y plomo (26 mg/kg), donde estos 3 últimos metales presentan valores cercanos a los obtenidos en la presente investigación.

Para el caso de Holanda se ha definido un suelo estándar con 10 % de M.O. y del 25 % de arcilla (Micó Llopis, 2005), donde se aplicó el método de ecuaciones lineales y obtuvo niveles de referencia para cromo (100 mg/kg), zinc (140mg/kg), cobre (36 mg/kg), plomo (85 mg/kg). Asimismo, el País Vasco también definió un suelo estándar con 5 % de M.O. y 30 % de arcilla (IHOBE, 1998), el cual a través del método de ecuaciones lineales determinó los niveles de referencia para zinc (106 mg/kg), cromo (53 mg/kg), cobre (24 mg/kg) y plomo (44 mg/kg). En ambos países, los niveles de

referencia para cobre y plomo fueron cercanos a los niveles de referencia obtenidos en la presente investigación; sin perjuicio de la predominancia de las propiedades fisicoquímicas de los suelos evaluados en Holanda y el País Vasco, los cuales difieren significativamente respecto de los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco.

Por otro lado, Dos Santos & Alleoni (2013) propusieron niveles de referencia a partir del Percentil 75 para el cobalto (21,3 y 15 mg/kg), cromo (44,8 y 55,5 mg/kg), cobre (20,6 y 24,7 mg/kg), níquel (2,1 y 10,3 mg/kg), plomo (9 y 18,1 mg/kg) y zinc (3 a 20,1 mg/kg) respecto a los métodos analíticos EPA 3051 y por Agua Regia para los suelos de Mato Grosso y Rondonia (Brasil); teniendo valores cercanos con los niveles de referencia respecto al cromo (24 - 26 mg/kg) y cobre (23 - 29 mg/kg) determinados en la presente investigación. Es importante tener en cuenta que el ámbito geográfico de Mato Grosso y Rondonia corresponden a una zona tropical con suelos ácidos de baja fertilidad y poca disponibilidad de fósforo.

Quiroz Ramírez (2011) determinó los niveles de referencia para el cobre (3,28 mg/kg), plomo (20,1 mg/kg), cadmio (20,1 mg/kg) y zinc (20,1 mg/kg) a partir de los parámetros estadísticos descriptivos; tomando en cuenta la expresión  $NR = \bar{X} + 2DE$  (95% de la población de los datos) donde  $\bar{X}$  el nivel de fondo y DE la desviación estándar; toda vez que no obtuvo una correlación significativa entre los contenidos de arcilla y M.O. en relación a su área de estudio.

Por último, OEFA (2016) determinó niveles de referencia para los treinta (30) metales evaluados a través del cálculo de la cota superior del Percentil 95, donde los niveles para aluminio (31 069 y 18 829 mg/kg), cromo (27,84 y 23,45 mg/kg), cobre (61,54 y 845 mg/kg), manganeso (1 139 y 1 544 mg/kg) y zinc (356,7 y 221,8 mg/kg) que

proviene de las dos (02) asociaciones de suelo de tipo Regosol dístico – Cambisol dístico y Leptosol dístico – Andosol vítrico, respectivamente, guardan relación con los niveles de referencia obtenidos en la presente investigación para aluminio (19 989 - 24 439 mg/kg), cromo (24 - 26 mg/kg), manganeso (877 - 966 mg/kg) y zinc (542 - 552 mg/kg); excepto para el cobre (23 - 29 mg/kg) el cual reportó un valor menor. Se reitera que los niveles de referencia propuestos consideraron como nivel de fondo los estadísticos descriptivos y el UCL95 dentro de las ecuaciones lineales.

En la Tabla 5-1 se presenta la propuesta de los niveles de referencia para los metales pesados evaluados en los suelos aledaños a la ciudad de Cerro de Pasco, comparándolos con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos (D.S. N° 011-2017-MINAM) y los niveles de referencia propuestos por otros autores y legislaciones de otros países.

**Tabla 5-1**

*Niveles de referencia para metales pesados propuestos por otros autores y/o legislaciones internacionales*

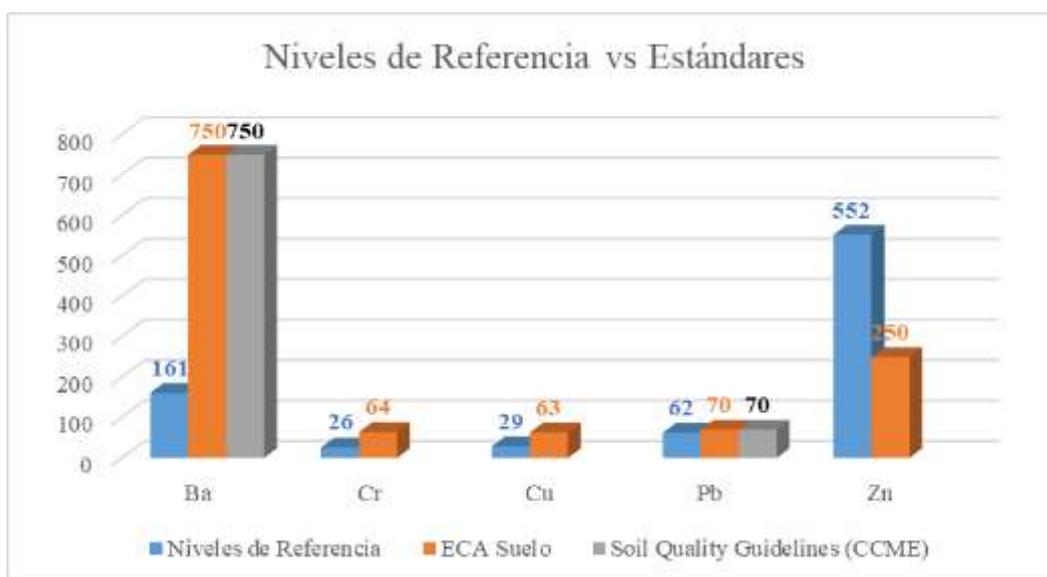
<b>Referencia</b>	<b>Al</b>	<b>Ba</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Cerro de Pasco – Perú <sup>1</sup> (Saldaña H., 2020)	24439	161	26	29	966	62	552
ECA Suelo – Perú *	-	750	-	-	-	70	-
Soil Quality Guidelines – Canadá *	-	750	64	63	-	70	250
Micó Llopis, 2005	-	-	36	28	289	26	81
Alberta – Canadá	-	750	64	63	-	70	200
Pérez <i>et al.</i> , 2000	-	-	-	34	-	88	109
Sánchez, 2003	-	-	16	9	-	14	33

Referencia	Al	Ba	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
Cataluña - España	-	-	-	55	-	70	178
Alicante – España	-	-	36	28	402	28	83
Comunidad de Madrid	-	-	70	41	-	51	135
Holanda	-	-	-	140	-	2.8	500
Calidad Ambiental del Recurso Suelo - Ecuador	-	750	65	63	-	100	200
IHOBE-País vasco	-	200	66	25	-	45	110

Nota. <sup>1</sup> Niveles de Referencia calculados por el autor a partir de las ecuaciones lineales obtenidas en la presente investigación, donde el NF está en función al cálculo del UCL95. \*Categoría de Uso Agrícola. Adaptado de Micó Llopis (2005); Rueda Saa *et al.* (2011); Brizuela & Jiménez (2012).

**Figura 5-1**

*Niveles de Referencia y Estándares de Calidad Ambiental*



Nota. Comparación de los Niveles de Referencia obtenidos en la presente investigación y su comparación con los ECA Suelo (nacional) y los Soil Quality Guidelines de Canadá (internacional); ambos en la categoría Uso Agrícola.

Elaboración propia.

## V. CONCLUSIONES

- Los niveles de fondo se determinaron a partir de los parámetros estadísticos descriptivos; considerando la media aritmética para los contenidos totales de cromo (17 mg/kg), manganeso (405 mg/kg), plomo (36 mg/kg) y zinc (81 mg/kg) dado a que presentan una distribución Normal; la media geométrica para los contenidos totales de aluminio (19 982 mg/kg) y cobre (13 mg/kg) debido a su distribución Log-Normal; y, por último, la mediana únicamente para bario (17 mg/kg) dado su alta variabilidad en el suelo del área de estudio y presentar una distribución No Normal. Se realizó el cálculo del UCL95 para cada metal pesado de acuerdo a su distribución espacial, donde los valores para cromo (19 mg/kg), cobre (19 mg/kg), plomo (40 mg/kg) y zinc (91 mg/kg) son ligeramente superiores a los valores calculados a través de los parámetros estadísticos; en tanto el aluminio (24 432 mg/kg), bario (146 mg/kg) y manganeso (494 mg/kg) registraron valores de nivel de fondo significativamente mayores. Por lo que se consideraría el UCL95 como un dato estadísticamente robusto para determinar los niveles de fondo para los contenidos totales de metales pesados evaluados en el área de estudio, el cual se ajusta al tipo de distribución que presentan los metales pesados en el suelo.
- Al establecer la correlación estadística entre los contenidos totales de metales pesados y las propiedades fisicoquímicas del suelo, se determinó que la M.O. y el pH presentaron una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos totales de aluminio, bario, cobre y zinc; influyendo sobre la capacidad de adsorción y dinámica en los suelos del área de estudio; no obstante, el

manganeso presentó una correlación negativa significativa ( $P < 0,05$ ). Respecto a los contenidos totales de plomo y cromo, estos no presentaron una correlación significativa ( $P < 0,05$ ) con la M.O. y pH; por lo tanto, la presencia de estos metales en el suelo estaría regida por otros factores externos relacionados a los procesos de meteorización de los afloramientos líticos y/o posibles aportes antrópicos.

La C.E. y la C.I.C. presentaron una correlación altamente significativa y positiva con los contenidos totales de aluminio, bario, cobre y zinc; donde el primero estaría condicionando la dinámica y transferencia de los metales pesados en el suelo, y el segundo regularía los procesos de intercambio catiónico para estos metales pesados. Los contenidos de plomo y cromo al no presentar una correlación significativa con estos parámetros fisicoquímicos del suelo, se favorecería su transferencia hacia otros comportamientos ambientales haciendo que varíe sus concentraciones en el suelo (Micó Llopis, 2005); no obstante, el manganeso no presentó una correlación significativa solo con la C.I.C., lo que concluye que sus concentraciones en el suelo no estarían reguladas del todos por los procesos de intercambio catiónico. Estos resultados fueron corroborados por el Análisis de Componentes Principales (ACP) el cual determinó 5 componentes que explican el 83,3 % de la varianza, donde el Componente 1 explica el 42,6 % de esta varianza y está comprendido por los contenidos de bario, cobre, aluminio, zinc, pH, C.E., C.I.C., M.O., y fósforo (este último presentó un sentido inverso) donde no se incluye al manganeso sobre este componente principal.

- Producto de las correlaciones estadísticas entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y los contenidos totales de metales pesado, permitieron definir que

propiedades edáficas tienen gran aporte, influyen y/o condicionan los contenidos totales del aluminio, bario, cromo, cobre, manganeso, plomo y zinc. A través de las rectas de regresión lineal se obtuvieron los aportes individuales de C.I.C., M.O. y pH para cada metal pesado evaluado en el suelo, los cuales presentaron una correlación significativa que varía para cada uno de ellos, excepto para el cromo, manganeso y plomo. La M.O. se obtuvo una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos de aluminio, bario, cobre y zinc; y en menor proporción una correlación negativa con los contenidos de manganeso; el mismo comportamiento se da con la C.I.C., excepto que no se tiene una correlación significativa (nula) con los contenidos de cromo, manganeso y plomo. Por último, el pH presentó el mismo caso que la M.O. al presentar una correlación altamente significativa ( $P < 0,01$ ) con los contenidos de aluminio, bario, cobre y zinc.

Las ecuaciones lineales generadas a partir de los valores medios de C.I.C., M.O. y pH en el área de estudio y los niveles de fondo provenientes de los estadísticos descriptivos, permitieron calcular los niveles de referencia para el aluminio (19 989 mg/kg), bario (84 mg/kg), cobre (23 mg/kg) y zinc (542 mg/kg); sin embargo, estas concentraciones fueron menores respecto a los niveles de referencia calculados para el aluminio (24 439 mg/kg), bario (161 mg/kg), cobre (29 mg/kg) y zinc (552 mg/kg) donde se consideró como nivel de fondo el UCL95. En ambos casos, las ecuaciones generadas consideran un suelo estándar que represente a toda la población del área de estudio y presente los contenidos medios de las propiedades fisicoquímicas del suelo empleados para su formulación (C.I.C., M.O. y pH) siendo más realistas estas aproximaciones. No obstante, para el caso del cromo, manganeso y plomo, no se estableció los niveles de referencia a partir

de la C.I.C., M.O. y pH, dado que las rectas de regresión lineal no presentaron una correlación estadísticamente significativa; ante ello se consideró la expresión  $NR = \bar{X} + nDE$  para establecer los niveles de referencia para el cromo (24 mg/kg), manganeso (877 mg/kg) y plomo (58 mg/kg), considerando como nivel de fondo ( $\bar{X}$ ) los estadísticos descriptivos, cuyos valores fueron menores respecto a los niveles de referencia para cromo (26 mg/kg), manganeso (966 mg/kg) y plomo (62 mg/kg), donde se consideró como nivel de fondo ( $\bar{X}$ ) al UCL95. La variación de estas concentraciones se debe al cálculo de los niveles de fondo, cuyos valores dependerán de la distribución estadística que presenten las concentraciones de los metales pesados. Por último, los niveles de referencia calculados en la presente investigación son representativos para los suelos adyacentes a la ciudad de Cerro de Pasco, que permitan definir suelos contaminados producto de las actividades mineras que datan del año 1902 y representen riesgos para la salud o el ambiente.

## VI. RECOMENDACIONES

- Determinar el tamaño de muestra óptimo a fin de realizar un muestreo representativo que contemple la mayor variabilidad de los metales pesados en el suelo; además de obtener una distribución estadísticamente más consistente que permita disminuir el sesgo que puedan representar estos datos a la hora de eliminar los valores discordantes para establecer los niveles de fondo. En el caso de no conocer la distribución de los metales pesados tener en cuenta la toma de muestras compuestas a partir de un número mayor a 3 sub-muestras a nivel superficial; además de contemplar otros parámetros estadísticos descriptivos ( $P_{75}$ ,  $P_{90}$  entre otros) para establecer aquellas concentraciones totales de los metales pesados en el suelo (*background*) de un determinado espacio geográfico y/o que refuercen y sea más robusto el cálculo del UCL95.
- Realizar mayores investigaciones sobre las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y los contenidos totales de los metales pesados a evaluar, en función a las tipologías de suelos existentes, las unidades geológicas, geomorfológicas y climáticas en un determinado espacio geográfico; a fin de regionalizar estos suelos (suelos costeros, altiplánicos, amazónicos, etc.) y determinar las propiedades fisicoquímicas de cada uno de estos suelos que influyan o presenten una mayor correlación con los contenidos totales de los metales pesados en el suelo.
- Si bien es cierto que el método de ecuaciones lineales considera a los parámetros fisicoquímicos que predominan y/o explican a la mayoría los contenidos totales de los metales pesados en el suelo (C.I.C., M.O. y pH en la presente

investigación), se recomienda contemplar a aquellas propiedades edáficas específicas las cuales no necesariamente presenten una alta correlación con la totalidad de los metales pesados del área de estudio, sino para algunos metales en específico (cromo, manganeso y plomo) las cuales puedan explicar mejor su distribución y/o contenido en el suelo a fin de establecer niveles de referencia más representativos.

- Considerar la presente investigación la cual sirva de referente para futuras investigaciones, así como a las entidades del estado; tales como el Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), entre otros, a fin de determinar los niveles de referencia para los diversos tipos de suelos que presenta el Perú y/o en las zonas donde se desarrollen las actividades extractivas/productivas las cuales presenten un riesgo potencial de contaminación. Además, aportar con una metodología que considere las variables predominantes de un determinado espacio geográfico, como las propiedades fisicoquímicas de los suelos y las concentraciones totales de los metales pesados que condicionen e influyan en la determinación de estos niveles de referencia, acorde a las tipologías de los suelos predominantes en el territorio nacional; que permitan fortalecer la normativa ambiental en relación a los ECA para suelo y en la gestión de sitios contaminados.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo Juan, I. (2015). *Transferencia de elementos traza potencialmente tóxicos en cultivos desarrollados en suelos con influencia minera*. Tesis doctoral, Universidad de Murcia, Facultad de Química.
- Ames, K. C., & Prych, E. A. (1995). *Background concentrations of metals in soils from selected regions in the State of Washington*. Washington, U.S.A.
- Avelino Carhuaricra, C. (2013). *Eficacia de la Fitoextracción para la remediación de suelos contaminados en Villa de Pasco*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Bakieva, M., García-Bellido, R., González Such, J., & Jornet, J. M. (2010). *innovaMIDE*. Obtenido de innovaMIDE: <https://www.uv.es/innomide/spss/>
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. doi:10.7818/re.2014.13-2.00
- Bautista Z., F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. (U. A. Yucatán, Ed.) México.
- Bravo, C., Cabrera, J., Carvallo, M., Cánchica, H., Ramírez, E., & González, I. (2011). Variabilidad Espacial de Propiedades Físicas y Químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* L.) en una parcela experimental de los Llanos Centrales Venezolanos. *X Jornadas de Investigación de la Zona no Saturada del Suelo*, X, 79-84.

- Brizuela, J., & Jiménez, Y. (2012). Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. *Avances en Química*, 7, 101-109. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93323436001>
- Cahn, M., Hummel, J., & Broker, B. (1994). Spatial Analysis of soil fertility for Site-Specific Crop Management . *Soil Science Society of America*, 58(4), 1240-1248.
- Calvo de Anta, R. (1997). *Contaminacion de Suelos* (Vol. 14). Ecología.
- Cantú, M. P., Becker, A., & Bedano, J. C. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25(2), 173-178. Obtenido de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200008&lng=es&nrm=iso)>
- CESEL S.A. (2012). *Plan de Cierre del Pasivo "Depósito de Desmontes Excelsior"*. Plan de Cierre de Minas, aprobado mediante R.D. 253-2012-MEM/AAM, Lima.
- Chávez Rodríguez, L. (2014). *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por Plomo*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- CICA Ingenieros. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto "Exploracion de los depositos de Quiulacocha y Excelsior"*. Instrumento de Gestion Ambiental, Lima, Lima.

- Cluis, C. (2004). Junk-greedy greens: phytoremediation as a new option for soil decontamination. *Bio. Tech. Journal*, 60–67.
- de la Fuente Fernández, S. (2011). *Análisis Conglomerados*. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
- Diamond, D., Baskin, D., Brown, D., Lund, L., Najita, J., & Javandel, I. (2009). *Analysis of Background Distributions of Metals in the Soil at Lawrence Berkeley National Laboratory*. University of California , United States Department of Energy .
- Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F., & Stewart, B. A. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (SSSA Special Publication Number 35 ed.). Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35.frontmatter>
- Dos Santos, S. N., & Alleoni, L. R. (2013). Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7), 5737-5748. doi:10.1007/s10661-012-2980-7
- Duffus, J. H. (2002). "Heavy Metals" - a meaningless term? *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793 - 807. doi:<https://doi.org/10.1351/pac200274050793>
- Dumanski, J., Gameda, S., & Pieri, C. (1998). *Indicators of land quality and sustainable land management*. Washington DC, USA: The World Bank.

- Durán Cuevas, P. A. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- Fadigas, F., Sobrinho, N., Mazur, N., & Cunha dos Anjos, L. H. (2006). Estimation of Reference Values for Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel, Lead, and Zinc in Brazilian Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 945-959.
- Fisher, J. (1979). Mineros y Minería de Plata en el Virreinato del Perú. *Histórica*, 57-61. Obtenido de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/historica/article/download/7857/8130>
- Frogbrook, K., Oliver, M., Salahi, M., & Ellis, R. (2002). Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. *Soil Use and Management*, 18, 1-9.
- Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Sevilla.
- García , I., & Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por metales pesados*. En: *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Gaucher, G. (1981). *Les facteurs de la Pédogénèse*. París: G. Lelotte.
- GEMESA Consultores Asociados S.A.C. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Ampliación del Tajo Abierto Raúl Rojas - U.E.A. Cerro de Pasco*. Estudio de Impacto Ambiental, Lima.

- Gjoka, F., Felix-Henningsen, P., Wegener, H.-R., Salillari, I., & Beqiraj, A. (2011). Heavy metals in soils from Tirana (Albania). *Environmental Monitoring and Assessment*, 172(1-4), 517-527. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-010-1351-5>
- González - Quiñones Ortas, V. (2006). *Metodología, formulación y aplicación de un índice de calidad de suelos con fines agrícolas para Castilla - La Mancha*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Guarín Salazar, N. (2002). *Estadística Aplicada*. (U. N. Colombia, Ed.) Medellín.
- Helsel, D. (2012). *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab and R* (Second Edition ed.).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta Edición ed.). México D.F., México.
- Holmgren, G., Meyer, M., Chaney, R., & Daniels, R. (1993). *Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America*. *Journal of Environmental Quality*.
- Huerta Cantera, H. E. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro, y su relación con el crecimiento bacteriano*. Tesis de grado, Universidad Autónoma de Querétaro.
- INRENA. (1996). *Mapa de Suelos del Perú*. Ministerio de Agricultura, Dirección de Evaluación de Recursos Naturales, Lima.
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation*. New York: McGraw-Hill.

- Jenny, H. (1980). *The Soil Resource: Origin and Behavior* (Illustrated ed., Vol. 37). Springer New York. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=jS\\_rBwAAQBAJ&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.pe/books?id=jS_rBwAAQBAJ&source=gbs_book_other_versions)
- Jiménez Ballesta, R., & Gonzales-Quñones, V. (2006). La Calidad del Suelo como medida para su conservación. *Edafología*, 13(3), 125-138.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). *Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation* (Vol. 61). doi:10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x
- Kidd, P. S., Becerra Castro, C., García Lestón, M., & Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas*, 16(2), 26-43. Obtenido de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7666>
- López Arias, M., & Rodríguez Martín, J. A. (2005). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de pastos de la España peninsular* (Vol. 2). (M. López Arias, & J. M. Grau Corbí, Edits.)
- Lv, J., Liu, Y., Zhang, Z., Dai, J., Dai, B., & Zhu, Y. (2015). Identifying the origins and spatial distributions of heavy metals in soils of Ju country (Eastern China) using multivariate and geostatistical approach. *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 163-178. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-014-0937-x>

- Ma, L., Tan, F., & Harris, W. (1997). *Concentrations and distributions of eleven metals in Florida soils*. Journal of Environmental Quality.
- Martínez Martínez , S. (2009). *Niveles de fondo y de referencia de metales pesados en suelos desarrollados de material parental volcánico, metamórfico y sedimentario en la Región de Murcia*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena (España). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50283>
- Martínez Sánchez, M., & Pérez Sirvent, C. (2007). *Niveles de fondo y Niveles Genéricos de Referencia de Metales Pesados en la Región de Murcia*. Comunidad Autónoma Región de Murcia y Universidad de Murcia, Murcia.
- May, T. (2015). pH, aluminio y factores ambientales en suelos bajo bosques de la cordillera Central, República Dominicana. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(1), 59 - 71. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/3477/347738680004.pdf>
- Micó Llopis, C. (2005). *Estudio de Metales Pesados en Suelos con Cultivos Hortícolas de la Provincia de Alicante*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, Valencia. Obtenido de <http://roderic.uv.es/handle/10550/15038>
- Miller, J., & Miller, J. (2002). *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en sitios contaminados*. Guía Técnica, Ministerio del Ambiente.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal* (1 ed.). (M. d. Ambiente, Ed.) Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2014). Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos. 72. Lima, Perú. Obtenido de [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-PDS-SUELO\\_MINAM2.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-PDS-SUELO_MINAM2.pdf)
- Mirzaei, R., Esmaili-Sari, A., Hemami, M. R., Rezaei, H. R., & Rodríguez Martín, J. A. (2014). Levels and variability of metals in soils of the province of Golestan (Iran). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(4), 617-629. doi:10.1007/s00244-014-0043-5
- Mitchell, R. (1964). Trace elements in soil. *Chemistry of the soil*, 320-368.
- Mosquera Lenti, F. J. (2017). *Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en un suelo agrícola en el valle del Mantaro*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2923>
- Nolberto Sifuentes, V., & Ponce Aruneri, M. (2008). *Estadística Inferencial Aplicada* (1ra ed.). Lima: Unidad de Post Grado de la Facultad de Educación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Obando, F. H., Villegas, A. M., Betancur, J. H., & Echeverri, L. (2005). Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un Typic edivitrands, arenoso de la región andina central colombiana. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 59(1), 3217-3235.

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2016). *Identificación de sitios contaminados en el ámbito de la subcuenca del río San Juan*. Informe N° 119-2016-OEFA/DE-SDLB-CEAI, OEFA.
- Otones Miguelañez, V. (2014). *Diagnóstico ambiental de suelos contaminados por actividades mineras y evaluación de técnicas de estabilización para su recuperación*. Tesis doctoral, Universidad de Salamanca, Departamento de Geología.
- Parr, J., Papendick, R., Hornick, S., & Meyer, R. (1992). Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. 7, 5-11. doi:10.1017/S0889189300004367
- Peris Mendoza, M. (2005). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, Valencia. Obtenido de <http://roderic.uv.es/handle/10550/15104>
- Phipps, D. A. (1981). Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. En N. W. Leep, *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*. Applied Science Publishers.
- Ponce Bravo, D. L. (2018). *Influencia del Complejo Metalúrgico La Oroya en la Calidad del Suelo por metales pesados, cianuro libre y cromo hexavalente en la zona de Huaynacancha, distrito de La Oroya, provincia de Yauli, departamento de Junín*. Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2285>

- Porta Casanellas, J., López - Acevedo Reguerín, M., & Poch Claret, R. M. (2008). *Introducción a la Edafología Uso y Protección del Suelo* (2 ed.). Cataluña, España: MUNDI-PRENSA LIBROS. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=mAlK0BA2cgMC>
- Porta Casanellas, J., López - Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ra Edición ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=GazqVtITqLUC>
- Prabhakaran, K., & Cottenie, A. (1971). Parent material-soil relationship in trace elements – A quantitative estimation. *Geoderma*, 5, 81 - 97.
- Quiroz Ramírez, J. V. (2011). *Valoración Ambiental de la Calidad del Suelo en la Microcuenca Picuroyacu en el distrito de Rupa Rupa, Leoncio Prado, Huánuco*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/891>
- Ramírez Zumaeta, E. R. (2016). *Génesis, Morfología, Clasificación y Susceptibilidad de los suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao Región Ucayali*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Rey, J., & Ovalles, F. (2001). Efecto de técnicas exploratorias de los datos en estimaciones Kriging de propiedades del suelo. *Agronomía Trop*, 51, 81-106.
- Roca, N. (2004). *Salinidad, alcalinidad y metales pesados en suelos semiáridos de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina): Aplicabilidad de la taxonomía de suelos*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.

- Rodríguez Almonte, R. A. (2016). *Caracterización Físico Química de los suelos desérticos de las Pampas de La Joya – Arequipa y su posible uso agrícola*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES, Arequipa.
- Rodríguez Garay, F. A. (2015). *Variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en rendimiento y calidad de Café*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Rodríguez M., R. (2003). *Memoria Descriptiva de la Revisión y Actualización del Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) - Cuadrante IV*. Lima: INGEMMET.
- Rodríguez M., R. (2010). Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, Escala 1:50 000, Hoja 22k, Cuadrante -IV. Lima, Lima: INGEMMET.
- Rodríguez M., R., Cueva T., E., & Carlotto C., V. (2011). *Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco Hoja 22-k*. Lima: INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional N° 144.
- Ross, S. M. (1994). *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*. (Wiley, Ed.) England.  
Recuperado el 2018 de setiembre de 25
- Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J. A., & Madriñán Molina, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 203-217.
- Ruiz Olortino, G. P. (2016). *Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Cacara, provincia de Yauyos, Lima*. Tesis de Maestría,

Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado, San Miguel.

Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7010>

Sáez Castillo, A. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. Universidad de Jaén.

Sánchez Bascones, I. (2003). *Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo (Valladolid) : contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia*.

Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid. Obtenido de <http://www.cervantesvirtual.com/obra/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0/>

Sánchez Puentes, L. F. (2017). *Concentraciones Naturales de Metales Pesados en Suelos de la III Region de Chile*. Tesis de Pregrado, Universidad de Chile,

Santiago de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146537>

Sánchez, J., Rubio, J., Martínez, V., & Antolín, C. (1984). *Metodología de capacidad de uso de los suelos para la cuenca Mediterránea*. I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

Sociedad Pública de Gestión Ambiental (IHOBE). (1998). *Calidad del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación (VIE-A, VIE-B y VIE-C)*. País Vasco.

Susana Zubillaga, M. (2012). *Remediación de suelos forrajeros contaminados con metales pesados, impacto de la aplicación de residuos orgánicos y fitoextracción*. Tesis doctoral, Universidade da Coruña, Departamento de Química Física.

Tan, K. (1996). Principles of soil sampling. En K. Tan, *Soil Sampling, Preparation and Analysis* (págs. 1-16). New York: Marcel Dekker Inc.

The United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2015). *ProUCL Version 5.1 Technical Guide Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations* . Washington, DC.

The United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2015). *ProUCL Version 5.1 User Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations*. (T. U. EPA), Ed.) Washington DC.

Tobías, F., Bech, J., & Sánchez, P. (1997). Establishment of the background levels of some trace elements in soils of NE Spain with probability plots. *The Science of the Total Environment*, 255-265.

United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*.  
Obtenido de  
[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf)

United States Department of Agriculture (USDA). (2001). *Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning*. Washington, EE.UU: Natural Resources Conservation Service.

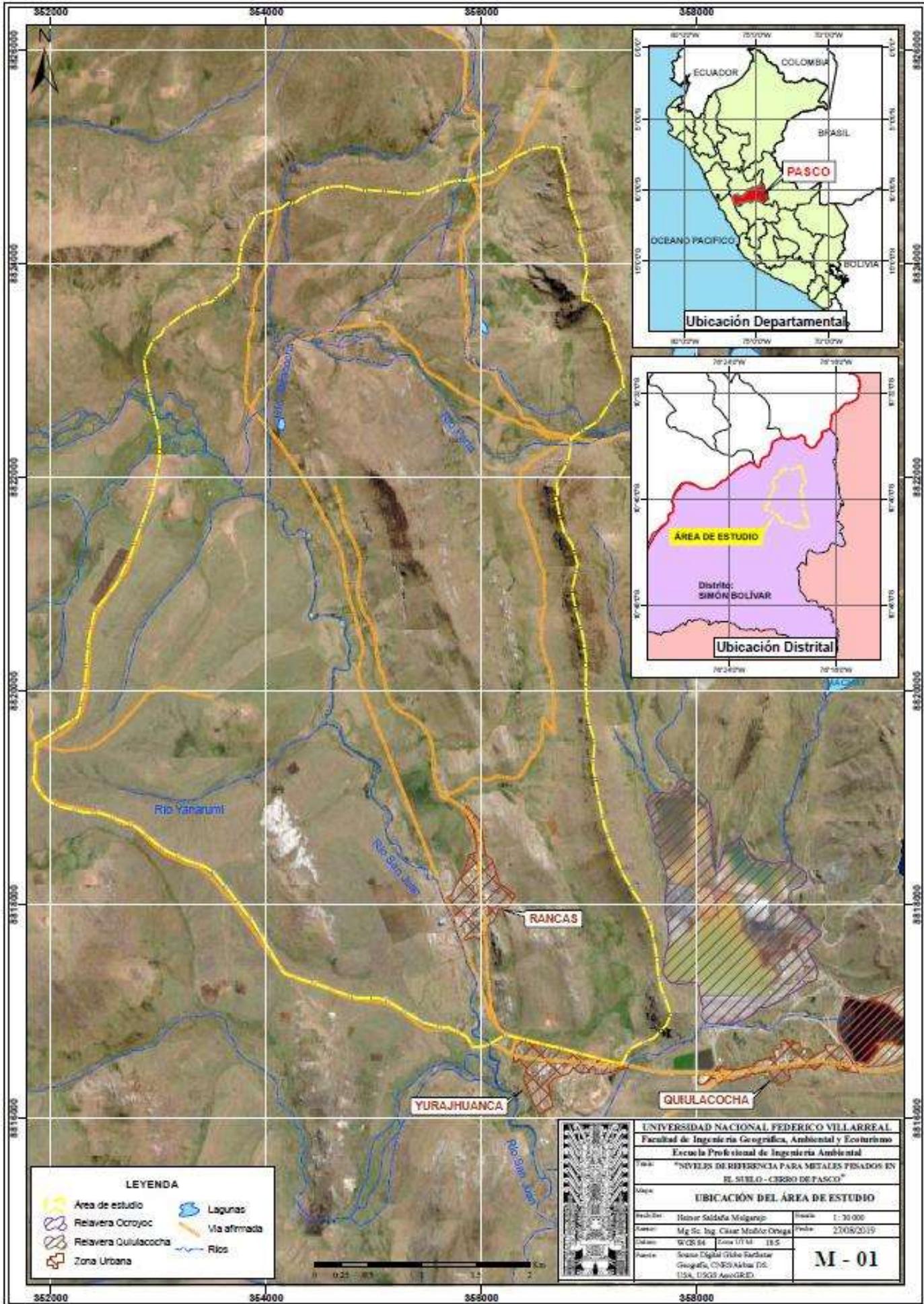
Van Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.-R., Jones, R. J., Montanarella, L., Olazabal, C., & Selvaradjou, S.-K. (2004). *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection* (Vol. IV).

- Vargas Franco, V. (2007). *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS*. (V. Vargas, Ed.) Cali.
- Vargas S., R., Serrato C., F., & Torrente T., A. (2015). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un suelo Fluventic Ustropepts en la cuenca baja del río Las Ceibas - Huila. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 113-123.
- Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, J. A., & de la Rosa Pérez, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: Instituto Nacional de Ecología. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=A50ITx37ScsC>
- Williamson, N., Johnson, M., & Bradshaw, A. (1982). *Mine wastes reclamation: the establishment of vegetation on metal mine wastes*. Mining Journal Books Ltd. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=Zh8wDwAAQBAJ&pg=PA22&lpg=PA22&dq=Williamson+et+al.,+1982+soil&source=bl&ots=kdtPhK3Bu2&sig=ACfU3U0JEwdZWExvc0HJ5uESlbBnFbaTvw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwil2OOA8bPgAhWEylkKHRUxDJIQ6AEwAHoECAIQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Yakabi Bedriñana, K. S. (2014). *Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina San Pedro de Laraos, provincia de Huarochirí, Lima*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS, Lima.

## VIII. ANEXOS

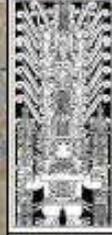
# **ANEXO N.º 1**

MAPAS

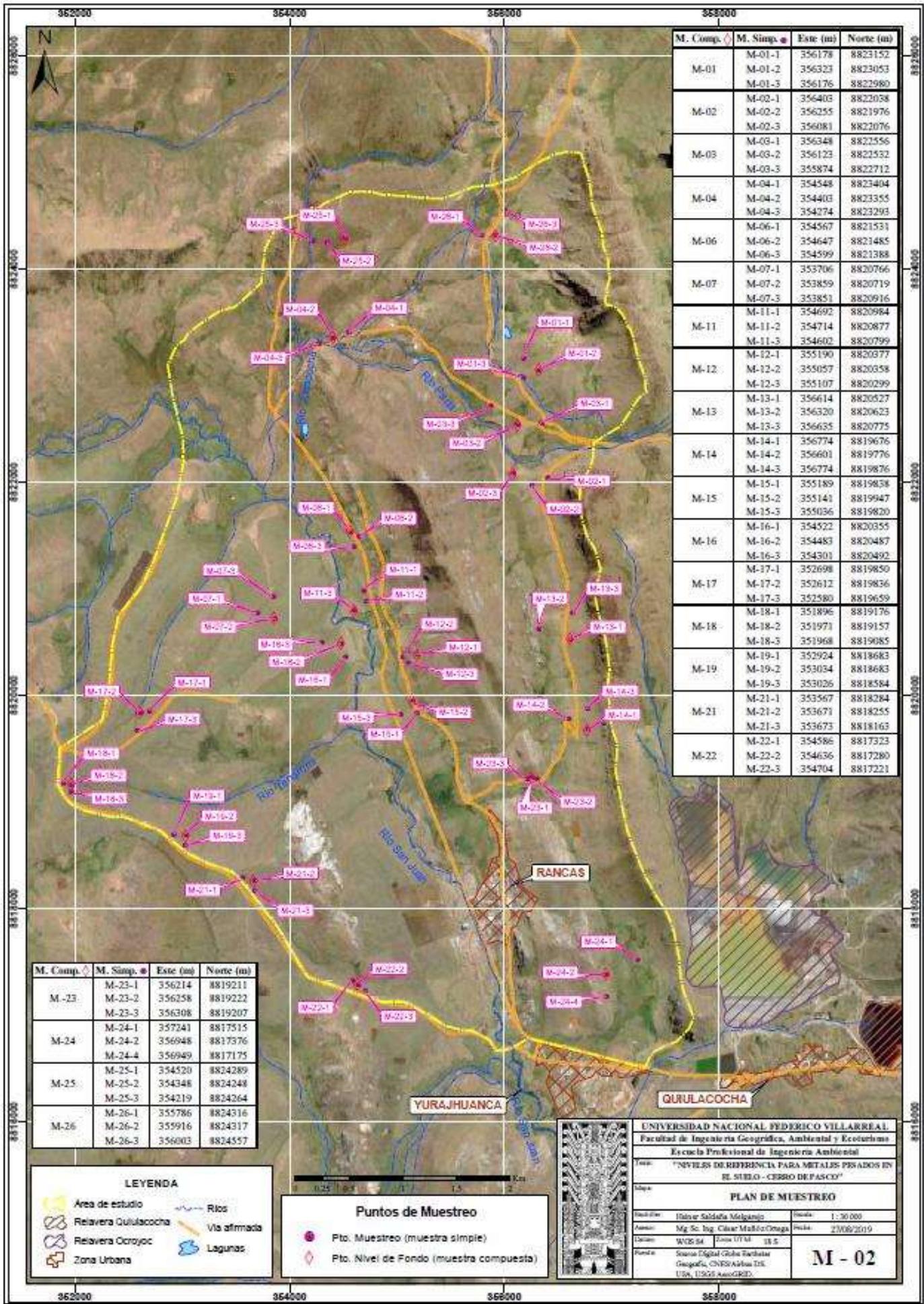


**LEYENDA**

	Area de estudio		Lagunas
	Relavera Ocoyoc		Via afirmada
	Relavera Quilacocha		Rios
	Zona Urbana		



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL	
Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo	
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
Título: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"	
Módulo: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
Profesor: Néstor Saldaña Melgarejo	Fecha: 1:30.000
Asesor: Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega	Fecha: 23/08/2019
Curso: WCB-94 / Tema: UTM / 18.5	
Proyecto: Sesión Digital (Globe Earthstar Geografía, CNRS Albas D6, USA, USGS ArcGRID)	<b>M - 01</b>



M. Comp. ◊	M. Simp. ●	Este (m)	Norte (m)
M-01	M-01-1	356178	8823152
	M-01-2	356323	8823053
	M-01-3	356176	8822980
M-02	M-02-1	356403	8822038
	M-02-2	356255	8821976
	M-02-3	356081	8822076
M-03	M-03-1	356348	8822556
	M-03-2	356123	8822532
	M-03-3	355874	8822712
M-04	M-04-1	354548	8823404
	M-04-2	354403	8823355
	M-04-3	354274	8823293
M-06	M-06-1	354567	8821531
	M-06-2	354647	8821485
	M-06-3	354599	8821388
M-07	M-07-1	353706	8820766
	M-07-2	353859	8820719
	M-07-3	353851	8820916
M-11	M-11-1	354692	8820984
	M-11-2	354714	8820877
	M-11-3	354602	8820799
M-12	M-12-1	355190	8820977
	M-12-2	355057	8820358
	M-12-3	355107	8820299
M-13	M-13-1	356614	8820527
	M-13-2	356320	8820623
	M-13-3	356635	8820775
M-14	M-14-1	356774	8819676
	M-14-2	356601	8819776
	M-14-3	356774	8819876
M-15	M-15-1	355189	8819838
	M-15-2	355141	8819947
	M-15-3	355036	8819820
M-16	M-16-1	354522	8820355
	M-16-2	354483	8820487
	M-16-3	354301	8820492
M-17	M-17-1	352698	8819850
	M-17-2	352612	8819836
	M-17-3	352580	8819659
M-18	M-18-1	351896	8819176
	M-18-2	351971	8819157
	M-18-3	351968	8819085
M-19	M-19-1	352924	8818683
	M-19-2	353034	8818683
	M-19-3	353026	8818584
M-21	M-21-1	353567	8818284
	M-21-2	353671	8818255
	M-21-3	353673	8818163
M-22	M-22-1	354586	8817323
	M-22-2	354636	8817280
	M-22-3	354704	8817221

M. Comp. ◊	M. Simp. ●	Este (m)	Norte (m)
M-23	M-23-1	356214	8819211
	M-23-2	356258	8819222
	M-23-3	356308	8819207
M-24	M-24-1	357241	8817515
	M-24-2	356948	8817376
	M-24-4	356949	8817175
M-25	M-25-1	354520	8824289
	M-25-2	354348	8824248
	M-25-3	354219	8824264
M-26	M-26-1	355786	8824316
	M-26-2	355916	8824317
	M-26-3	356003	8824557

**LEYENDA**

- Area de estudio
- Relavera Qullacocha
- Relavera Cerroyoc
- Zona Urbana
- Rios
- Via afirmada
- Lagunas

**Puntos de Muestreo**

- Pto. Muestreo (muestra simple)
- ◊ Pto. Nivel de Fondo (muestra compuesta)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
 Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecosistemas  
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

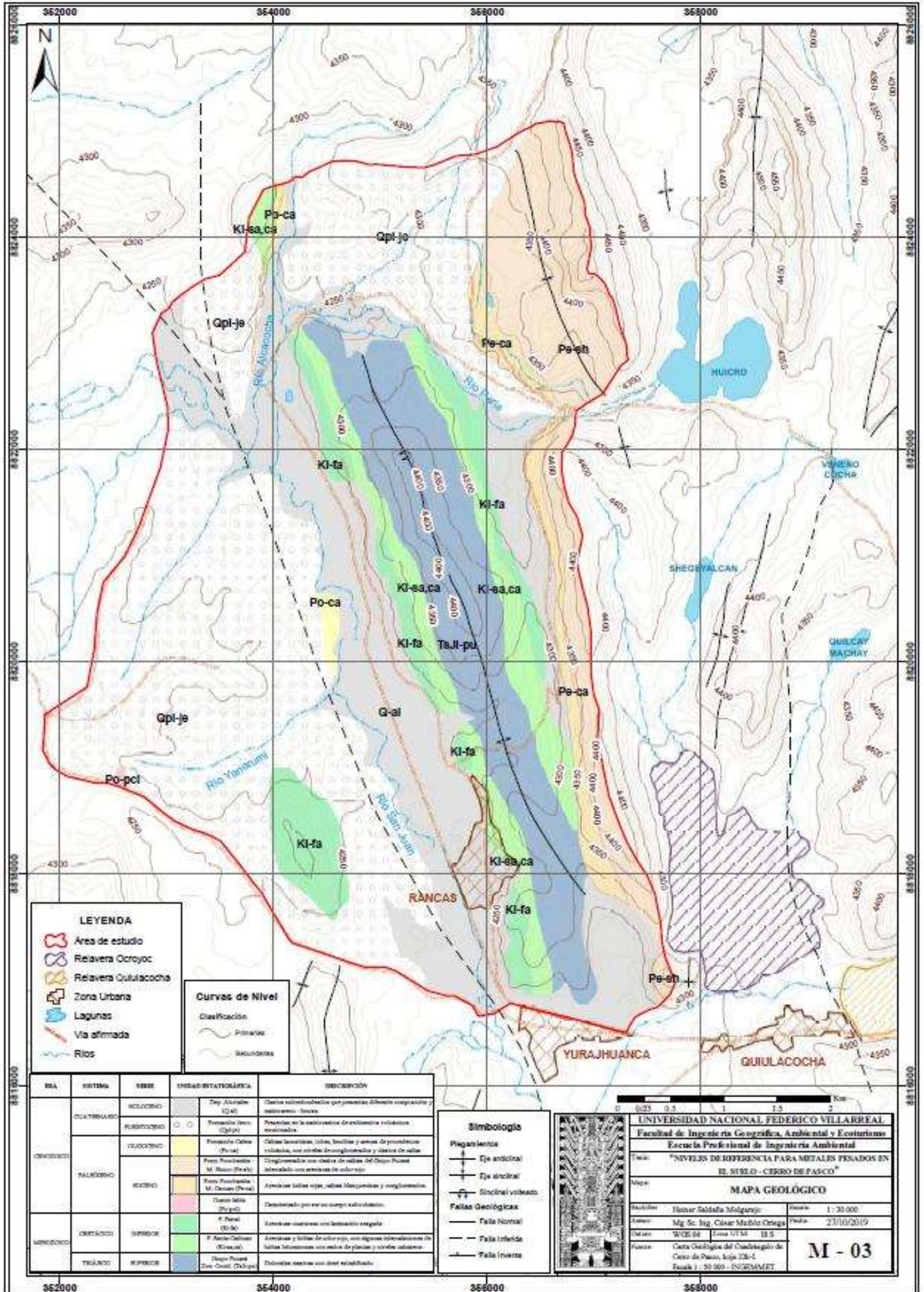
Título: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"

Mater: **PLAN DE MUESTREO**

Elaboración: Héctor Saldaña Melgarejo Fecha: 1:30:00  
 Asesor: Mg. Sc. Ing. César Muñoz Omega Fecha: 27/09/2019  
 Lugar: WVS 04 Zona 07 04 05 E

Formato: Sistema Digital Global Base de Datos Geográficas, CNRS/ARLIS IIS USA, USGS/ArcGRID.

**M - 02**



**LEYENDA**

- Área de estudio
- Relavera Ocoyoac
- Relavera Quiulacocha
- Zona Urbana
- Lagunas
- Via afirmada
- Ríos

**Curvas de Nivel**

Clasificación:

- Primarias
- Secundarias

ERA	SISTEMA	NOMBRE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	Holoceno	O, O	Dep. Aluvial (Qal)	Depositos sedimentarios por procesos de erosión y sedimentación reciente.
			Formación Cajas (Pca)	Cajas terciarias, sales, brechas y arenas de procedencia volcánica, con niveles de conglomerado y clastos de caliche.
	Terciario	Mioceno	Paso Pisco (Pca)	Conglomerado con clastos de caliche del Grupo Pisco depositado con arenas de color rojo.
			Paso Pisco (Pca)	Arenas sales, sales, brechas y conglomerados.
MESOCENO	Sarmiento	Sarmiento	Deposito de (Pca)	Desarrollado por erosión de los depósitos.
			P. Pisco (Pca)	Arenas con arena y limonita pegada.
			P. Roca Blanca (Pca)	Arenas y limas de color rojo, con algunas intercalaciones de lutitas bituminosas con sales de gipsos y niveles salinos.
TRIÁSICO	Rancas	Rancas	Dolomita masiva con nivel estratificado.	

**Simbología**

**Plegamientos**

- Eje anticlinal
- Eje sinclinal
- Dirección volcada

**Fallas Geológicas**

- Falla Normal
- Falla Inversa
- Falla Inversa



**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
**Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

Título: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"

Mater: **MAPA GEOLÓGICO**

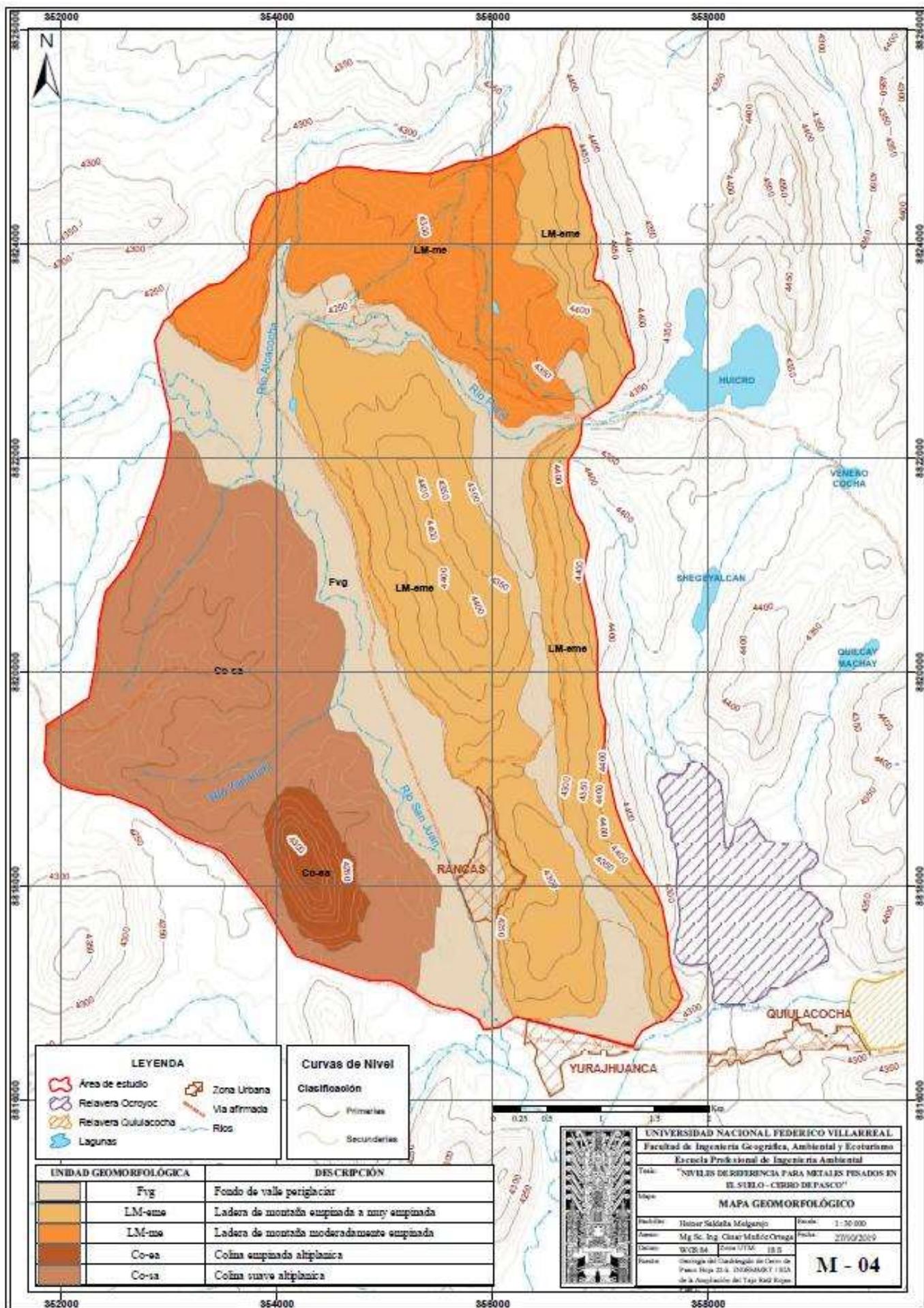
Autores: **Diego Saldía Molgara;** Fecha: 1 - 30 000

Asesor: **Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega** Fecha: 23/10/2019

Datos: WGS 84 Zona UTM 18 S

Proyecto: Carta Geológica del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, hoja 23-I, Escala 1 : 50 000 - INGEOMET

**M - 03**



**LEYENDA**

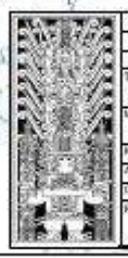
- Área de estudio
- Relavera Ocoyoc
- Relavera Quilacocha
- Lagunas
- Zona Urbana
- Via afirmada
- Ríos

**Curvas de Nivel**

**Clasificación**

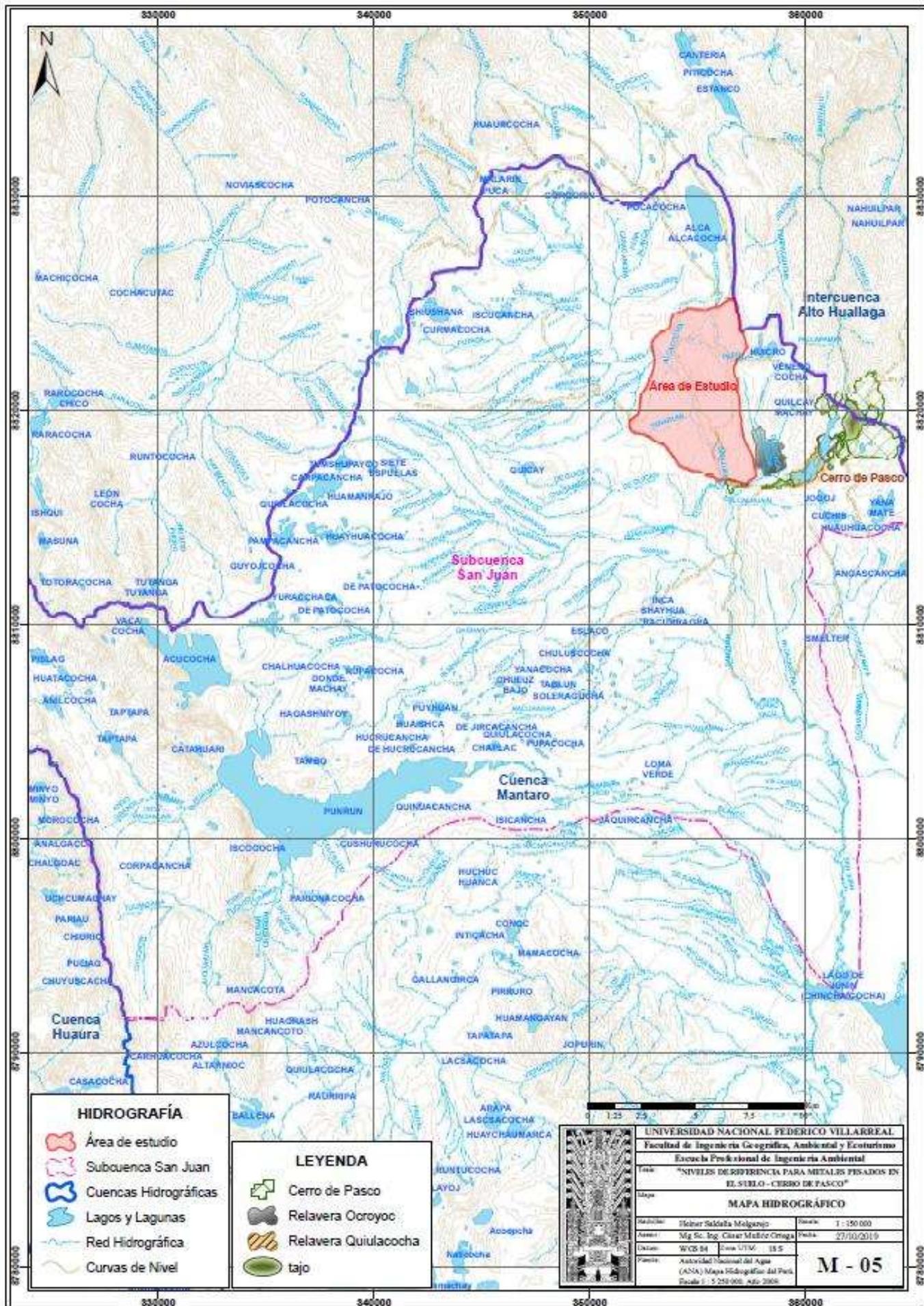
- Primarias
- Secundarias

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
Fvg	Fondo de valle periglacial
LM-eme	Ladera de montaña empinada a muy empinada
LM-me	Ladera de montaña moderadamente empinada
Co-aa	Colina empinada alpinica
Co-sa	Colina suave alpinica



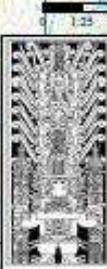
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
 Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo  
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
 Tesis: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"  
 Mapa: **MAPA GEOMORFOLÓGICO**  
 Profesor: Hilar Saldana Melgarjo Fecha: 1-30-00  
 Autor: Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega Fecha: 27/09/2019  
 Curso: QUES 04 Zona UTM 18 S  
 Fuente: Geografía del Departamento de Cerro de Pasco Hoja 224. DIOGENESKY 185A de la Asociación del Topo 842 Rojas

**M - 04**

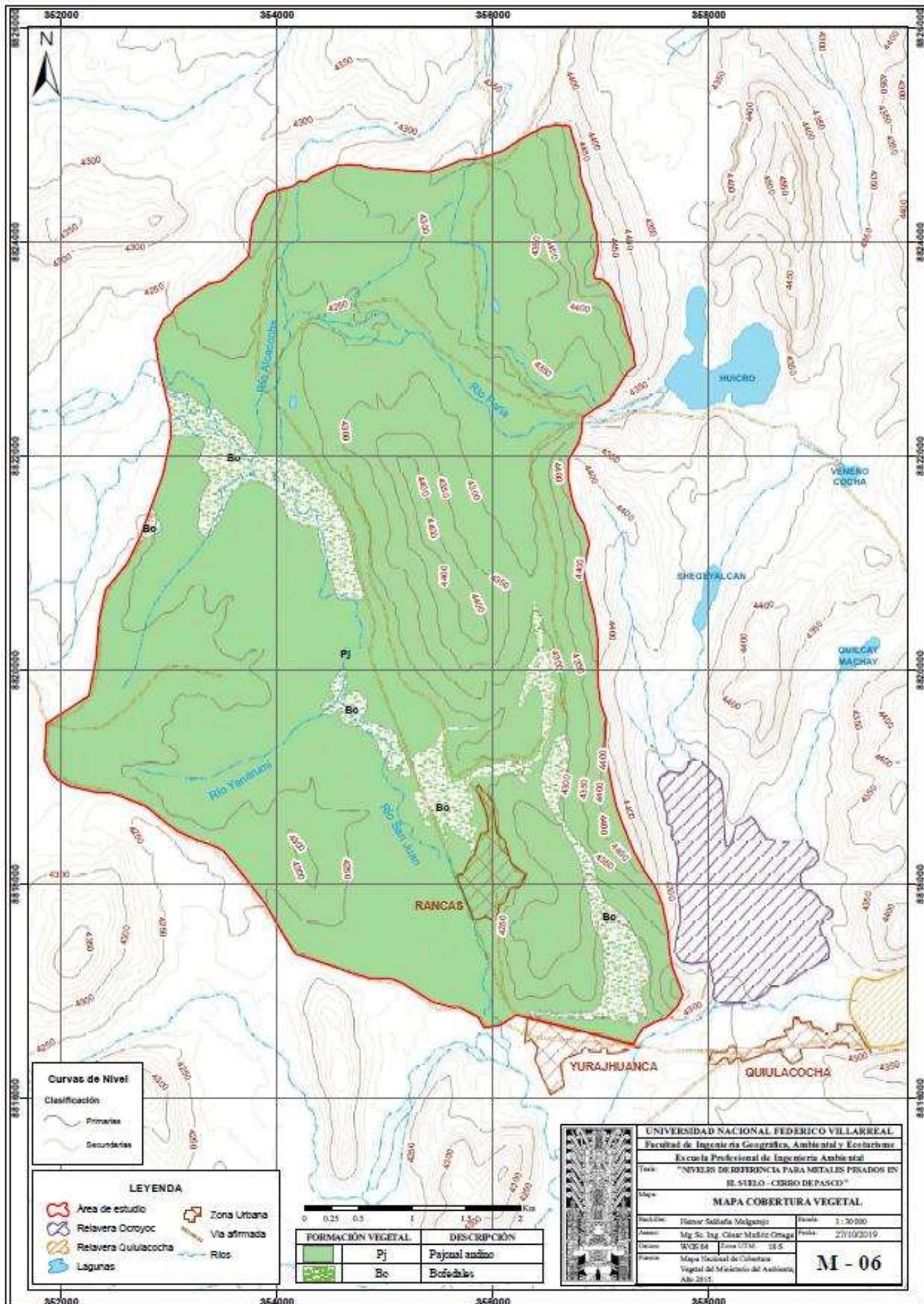


- HIDROGRAFÍA**
- Área de estudio
  - Subcuenca San Juan
  - Cuencas Hidrográficas
  - Lagos y Lagunas
  - Red Hidrográfica
  - Curvas de Nivel

- LEYENDA**
- Cerro de Pasco
  - Relavera Ocoyoc
  - Relavera Quiulacocho
  - tajo



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL	
Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecológica	
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
"NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"	
Tema	
Mapa	
<b>MAPA HIDROGRÁFICO</b>	
Elaborador: Helmer Saldaña Melgarejo	Escala: 1:150.000
Aprobó: Mg. Sc. Ing. César Muñoz Omega	Fecha: 27/02/2019
Ubicación: WGS 84 Zona UTM 18 S	
Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA) Mapa Hidrográfico del Perú, Escala 1:500.000, Año 2008	
<b>M - 05</b>	



**Curvas de Nivel**  
 Clasificación:  
 Primarias  
 Secundarias

**LEYENDA**

- Área de estudio
- Relavera Ocoyoc
- Relavera Quilacocha
- Lagunas
- Zona Urbana
- Via afirmada
- Ríos



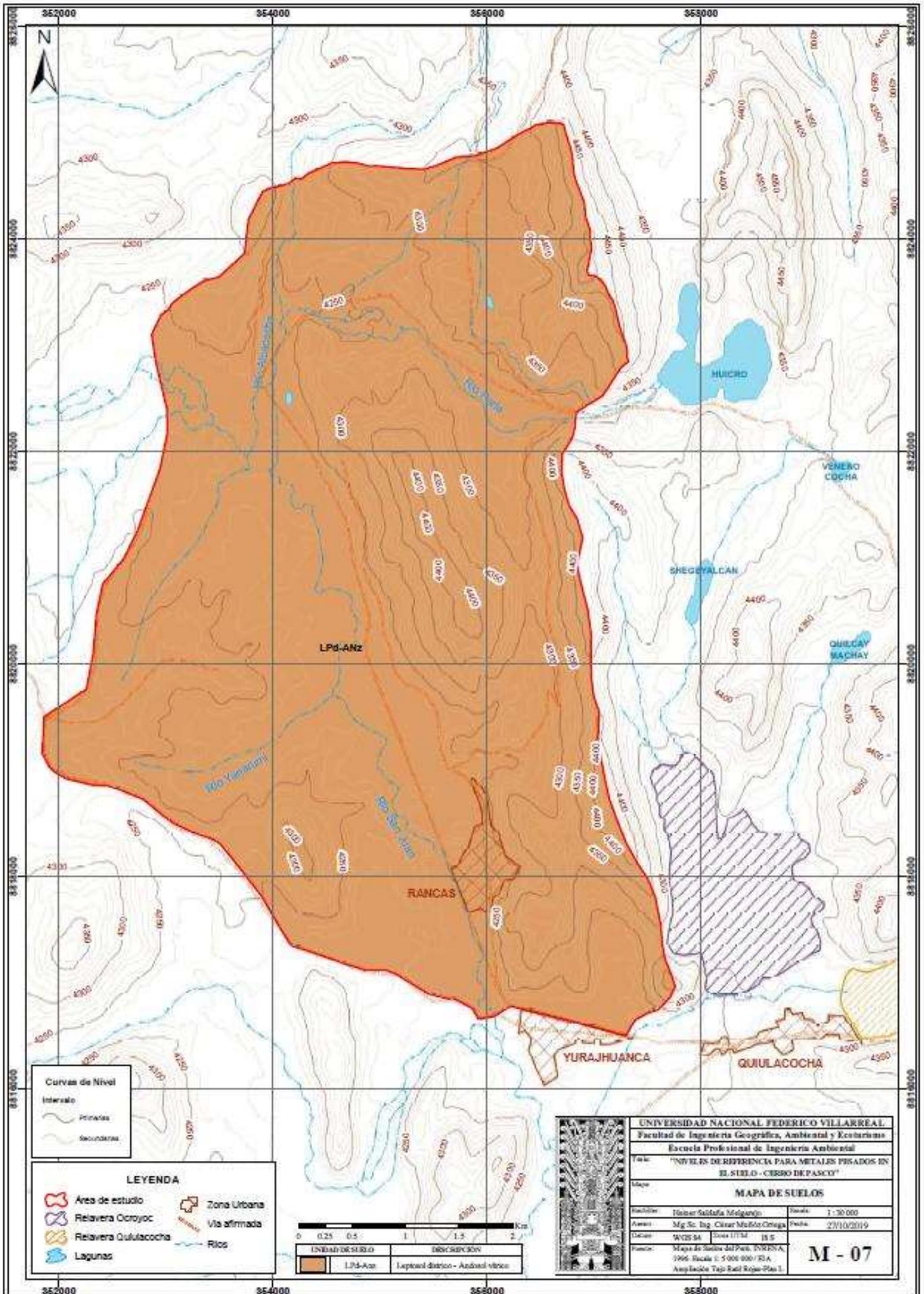
FORMACIÓN VEGETAL	DESCRIPCIÓN
	Pj Pajonal andino
	Bo Bofochales



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
 Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo  
 Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
 Tarea: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SIELO - CERRO DE PASCO"  
 Mapa: **MAPA COBERTURA VEGETAL**

Elaboró: <b>Yonier Saldaña Velazquez</b>	Escala: 1 : 30000
Aprobó: <b>Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega</b>	Fecha: 23/10/2019
Ubicación: <b>WGS 84 Zona UTM 18 S</b>	
Proyecto: <b>Mapa Topográfico de Cobertura Vegetal del Ministerio del Ambiente, Año 2015</b>	

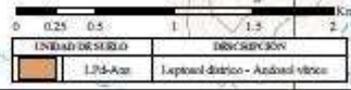
M - 06



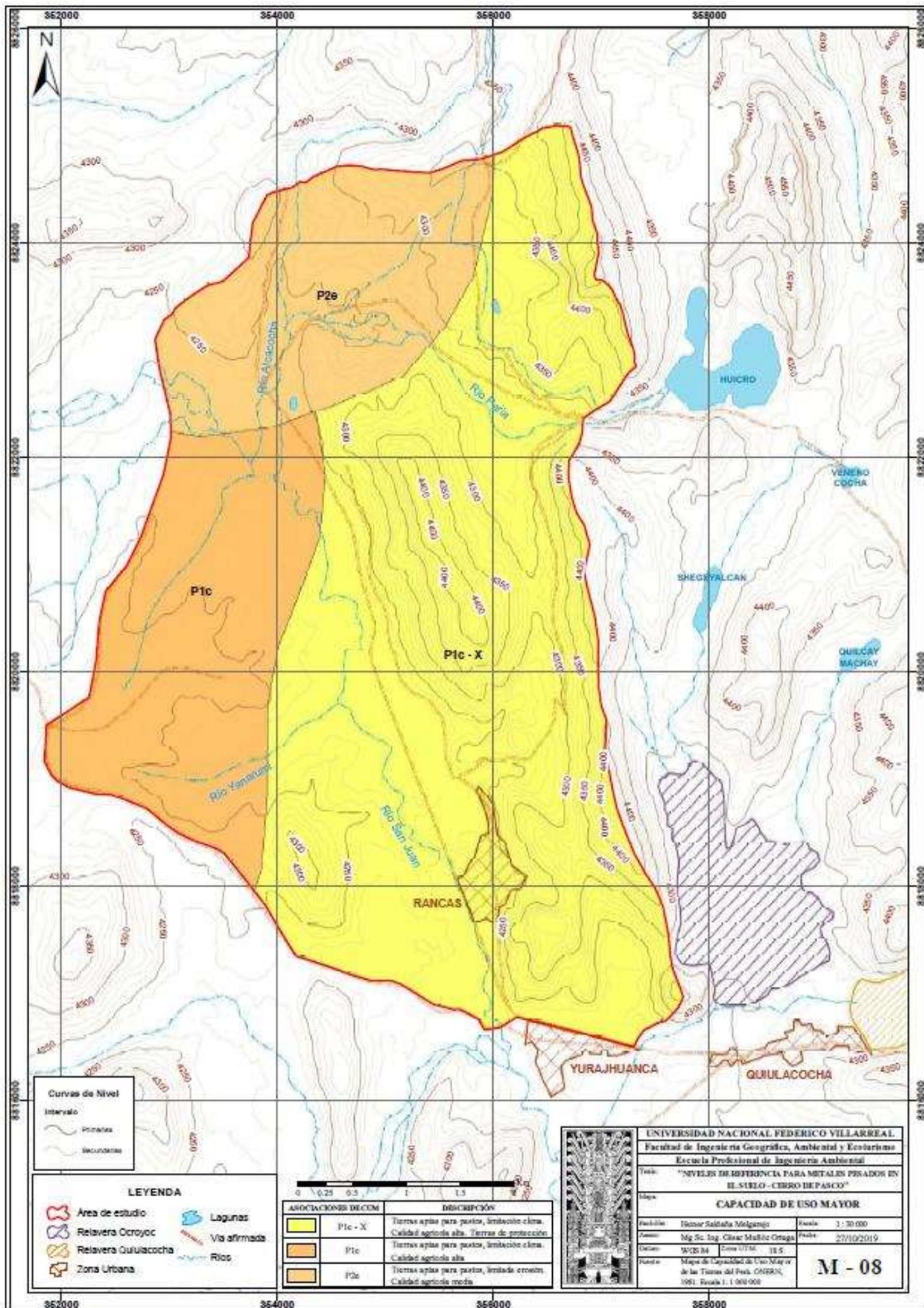
Curvas de Nivel  
Intervalo  
Primarias  
Secundarias

**LEYENDA**

- Área de estudio
- Relavera Ocoyoc
- Relavera Quiulacocho
- Lagunas
- Zona Urbana
- Vía afirmada
- Ríos



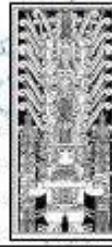
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL	
Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecosistemas	
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
Título:	"NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"
Mapa:	<b>MAPA DE SUELOS</b>
Elaboró:	Díester Saldaña Melgarejo
Aprobó:	Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega
Fecha:	14/05/2019
Edición:	1
Proyecto:	Mapa de Suelos del Perú, INRENA, 1996. Escala 1:5.000.000/33 A. Aplicación Top. Red. Rojas-Pérez
<b>M - 07</b>	



Curvas de Nivel  
Intervalo  
Primarias  
Secundarias

- LEYENDA**
- Área de estudio
  - Relavera Ocroyoc
  - Relavera Quilacocha
  - Zona Urbana
  - Lagunas
  - Vía afirmada
  - Ríos

ASOCIACIONES DE COM	DESCRIPCIÓN
	P1c - X Tierras aptas para pastos, limitado clima. Calidad agrícola alta. Tierras de protección.
	P1c Tierras aptas para pastos, limitado clima. Calidad agrícola alta.
	P2e Tierras aptas para pastos, limitado clima. Calidad agrícola media.



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL  
Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecológica  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Título: "NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO - CERRO DE PASCO"

Módulo: **CAPACIDAD DE USO MAYOR**

Profesor: Damar Saldaña Melgaro	Fecha: 11/10/2019
Asesor: Mg. Sc. Ing. César Muñoz Ortega	Fecha: 27/10/2019
Código: W20194	Clima UTM: 18.5
Plantel: Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del País. ONERN, 1981. Escala 1:1.000.000	

**M - 08**

# **ANEXO N.º 2**

FICHAS DE MUESTREO DE SUELOS

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 16:04 pm	Código de Punto: <b>M-01-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 308
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356178 m	N: 8823152 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente moderadamente escarpada (&gt; 15%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 3/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (30 cm de prof.), de color marrón café oscuro y húmedo. Parcelas agrícolas y ganado (bovino) a los alrededores.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 16:22 pm	Código de Punto: <b>M-01-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 328
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356323 m	N: 8823053 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente moderadamente escarpada (&gt; 15%)</p> <p><u>Color:</u> 5YR 6/6</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof.) transición a una capa de color marrón rojizo anaranjado. Parcelas agrícolas alrededor.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 16:34 pm	<b>Código de Punto:</b> M-01-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 301
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356176 m	<b>N:</b> 8822980 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 		<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)	
		<b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores) <b>Pendiente:</b> Pendiente fuertemente inclinada (> 10%) <b>Color:</b> 5YR 6/6 <b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso <b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media <b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna <b>Tiempo:</b> Cielo nublado <b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a una capa de color marrón rojizo anaranjado. Parcelas agrícolas alrededor.	

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 15:04 pm	<b>Código de Punto:</b> M-02-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 293
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356403 m	<b>N:</b> 8822038 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 		<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)	
		<b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores) <b>Pendiente:</b> Pendiente fuertemente inclinada (> 10%) <b>Color:</b> 5YR 6/8 <b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso <b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas y gruesas <b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna <b>Tiempo:</b> Cielo nublado <b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (3 cm de prof.), color marrón rojizo anaranjado, con clastos sub angulosos.	

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 15:15 pm	<b>Código de Punto:</b> M-02-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 294
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356255 m	<b>N:</b> 8821976 m	<b>Pto. Reubicado:</b> No

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (presencia de rocas en la superficie)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (2%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (3 cm de prof.), transición a suelo de color marrón rojizo anaranjado.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 15:26 pm	<b>Código de Punto:</b> M-02-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 270
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356081 m	<b>N:</b> 8822076 m	<b>Pto. Reubicado:</b> No

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Poca pedregosidad</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (2%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, raíces gruesas escasas</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (3 cm de prof.), transición a suelo de color marrón rojizo anaranjado.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 11:31 am	<b>Código de Punto:</b> M-03-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 276
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356348 m	<b>N:</b> 8822556 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo color marrón rojizo anaranjado.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 11:34 am	<b>Código de Punto:</b> M-03-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 268
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356123 m	<b>N:</b> 8822532 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (presencia de rocas en el perfil del suelo)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, raíces moderadamente gruesas</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo color marrón rojizo anaranjado.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 20/10/2018	Hora: 11:50 am	Código de Punto: <b>M-03-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 258
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 355874 m	N: 8822712 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 4/6</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo color marrón rojizo anaranjado.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 20/10/2018	Hora: 12:12 pm	Código de Punto: <b>M-04-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 236
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354548 m	N: 8823404 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2 %)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 5/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo de color marrón claro, poco húmedo.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 12:20 pm	<b>Código de Punto:</b> M-04-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 233
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354403 m	<b>N:</b> 8823355 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (presencia de fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2 %)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 3/2</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café y húmedo</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 12:28 pm	<b>Código de Punto:</b> M-04-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 224
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354274 m	<b>N:</b> 8823293 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (presencia de fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2 %)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo de color marrón anaranjado.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 13:28 pm	<b>Código de Punto:</b> M-06-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 215
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354567 m	<b>N:</b> 8821531 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 3/2</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas abundantes, pocas raíces gruesas a profundidad</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café y húmedo.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 13:30 pm	<b>Código de Punto:</b> M-06-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 233
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354647 m	<b>N:</b> 8821485 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 3/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas y gruesas abundantes</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (30 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 13:49 pm	<b>Código de Punto:</b> M-06-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 214
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354599 m	<b>N:</b> 8821388 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 3/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas y gruesas abundantes</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 08:35 am	<b>Código de Punto:</b> M-07-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 221
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 353706 m	<b>N:</b> 8820766 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (presencia de fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 2.5/2</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, breve precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 08:30 am	<b>Código de Punto:</b> M-07-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 221
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 353859 m	<b>N:</b> 8820719 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 3/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas y gruesas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, breve precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 08:28 am	<b>Código de Punto:</b> M-07-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 176
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 353851 m	<b>N:</b> 8820916 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (presencia de fragmentos rocosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 3/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas y gruesas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, breve precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 20/10/2018	Hora: 14:14 pm	Código de Punto: <b>M-11-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 214
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354692 m	N: 8820984 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 5/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado, soleado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (20 cm de prof.), suelo de color marrón café. Parcelas agrícolas y animales (ovejas) alrededor.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 20/10/2018	Hora: 14:17 pm	Código de Punto: <b>M-11-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 215
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354714 m	N: 8820877 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 5/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado, soleado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (30 cm de prof.), suelo de color marrón café. Parcelas agrícolas y animales (ovejas) alrededor.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 14:34 pm	<b>Código de Punto:</b> M-11-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 213
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 354602 m	<b>N:</b> 8820799 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 5/3</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado, soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (30 cm de prof.), suelo de color marrón café, cerca a bofedal.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 15:10 pm	<b>Código de Punto:</b> M-12-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 247
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 355190 m	<b>N:</b> 8820377 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado, ligeramente soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (20 cm de prof.), color marrón café. Parcelas agrícolas a los alrededores y animales (ovejas, alpacas).</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 15:10 pm	<b>Código de Punto:</b> M-12-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 217
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 355057 m	<b>N:</b> 8820358 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado, ligeramente soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a suelo de color marrón café. Parcela agrícola y animales (ovejas, alpacas) alrededor.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 14:59 pm	<b>Código de Punto:</b> M-12-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 227
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 355107 m	<b>N:</b> 8820299 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 7/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad baja</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado, ligeramente soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a una capa de suelo color marrón anaranjado, medianamente húmedo.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 13:59 pm	Código de Punto: <b>M-13-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 327
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356614 m	N: 8820527 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso (fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente inclinada (&gt; 8%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 4/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad baja</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado, soleado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición a una capa de suelo color marrón anaranjado. Afloramientos rocosos a 500 m.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 14:30 pm	Código de Punto: <b>M-13-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 306
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356320 m	N: 8820623 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 5/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado, soleado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (6 cm de prof.), transición a una capa de suelo color marrón claro. Presencia de heces de ganado bovino.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 14:13 pm	Código de Punto: <b>M-13-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 334
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356635 m	N: 8820775 m	Pto. Reubicado: <b>Si</b>



**Descripción** (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)

**Pedregosidad:** Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)

**Pendiente:** Pendiente inclinada (> 8%)

**Color:** 7.5YR 4/4

**Textura:** Suelo Franco Arenoso

**Raíces:** Raíces fibrosas delgadas, densidad media

**Vegetación:** Pajonal (ichu) y césped de puna

**Tiempo:** Cielo despejado, soleado

**Observaciones:** Contenido de M.O. (6 cm de prof.), transición a una capa de suelo de color marrón rojiza anaranjada.

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 13:02 pm	Código de Punto: <b>M-14-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 210
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356774 m	N: 8819676 m	Pto. Reubicado: <b>No</b>



**Descripción** (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)

**Pedregosidad:** Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a 500 m)

**Pendiente:** Pendiente fuertemente inclinada (> 10%)

**Color:** 7.5YR 4/4

**Textura:** Suelo Franco Arenoso

**Raíces:** Raíces fibrosas delgadas, densidad media

**Vegetación:** Pajonal (ichu) y césped de puna

**Tiempo:** Cielo despejado, soleado

**Observaciones:** Contenido de M.O. (8 cm de prof), transición a una capa de suelo de color marrón rojizo anaranjado.

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 13:28 pm	Código de Punto: <b>M-14-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 271
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356601 m	N: 8819776 m	Pto. Reubicado: <b>No</b>

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente fuertemente inclinada (&gt; 10%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 4/4</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado, soleado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), transición a una capa de suelo de color marrón rojizo anaranjado.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 13:14 pm	Código de Punto: <b>M-14-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 267
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356774 m	N: 8819876 m	Pto. Reubicado: <b>No</b>

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><u>Color:</u> 7.5YR 3/2</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo despejado</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), transición a una capa de suelo de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 15:47 pm	<b>Código de Punto:</b> M-15-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 211
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 355189 m	<b>N:</b> 8819838 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 2.5YR 4/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (20 cm de prof.), color negro café. Parcelas agrícolas a los alrededores y animales (ovejas).</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 15:37 pm	<b>Código de Punto:</b> M-15-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 215
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 355141 m	<b>N:</b> 8819947 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 5/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (20 cm de prof.), transición a una capa de suelo de color marrón anaranjado y húmedo.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 15:35 pm	<b>Código de Punto:</b> M-15-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 211
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 355036 m	<b>N:</b> 8819820 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 	<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)  <u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso  <u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)  <u>Color:</u> 7.5YR 3/2  <u>Textura:</u> Suelo Franco  <u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media  <u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna  <u>Tiempo:</u> Cielo despejado  <u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (15 cm de prof.), transición a una capa de suelo de color marrón café y húmedo.		

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 16:31 pm	<b>Código de Punto:</b> M-16-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 215
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354522 m	<b>N:</b> 8820355 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 	<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)  <u>Pedregosidad:</u> Moderadamente pedregoso  <u>Pendiente:</u> Pendiente ligeramente inclinada (> 3%)  <u>Color:</u> 2.5YR 4/3  <u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso  <u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media  <u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna  <u>Tiempo:</u> Cielo nublado  <u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), transición a una capa de suelo de color marrón café y húmedo		

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 16:21 pm	<b>Código de Punto:</b> M-16-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 216
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354483 m	<b>N:</b> 8820487 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (presencia de fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (8 cm de prof.), transición a una capa de suelo de color marrón rojizo anaranjado y húmedo</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 16:18 pm	<b>Código de Punto:</b> M-16-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 212
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354301 m	<b>N:</b> 8820492 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (&gt; 3%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 3/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (30 cm de prof.), de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 08:57 am	Código de Punto: <b>M-17-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 251
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 352698 m	N: 8819850 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10R 3/2</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcilloso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 08:59 am	Código de Punto: <b>M-17-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 243
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 352612 m	N: 8819836 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10R 2.5/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcilloso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 09:08 am	<b>Código de Punto:</b> M-17-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 254
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 352580 m	<b>N:</b> 8819659 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Bajamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 3/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcilloso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Parcelas agrícolas a los alrededores.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 09:35 am	<b>Código de Punto:</b> M-18-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 270
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 351896 m	<b>N:</b> 8819176 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Bajamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 3/3</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 09:40 am	Código de Punto: <b>M-18-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 262
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 351971 m	N: 8819157 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 2.5YR 3/2</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 09:43 am	Código de Punto: <b>M-18-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 265
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 351968 m	N: 8819085 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10YR 2/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo.</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:07 am	Código de Punto: <b>M-19-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 243
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 352924 m	N: 8818683 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10YR 3/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:12 am	Código de Punto: <b>M-19-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 232
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 353034 m	N: 8818683m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10R 2.5/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:15 am	Código de Punto: <b>M-19-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 241
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 353026 m	N: 8818584 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10R 2.5/2</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (10 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:35 am	Código de Punto: <b>M-21-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 250
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 353567 m	N: 8818284 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 2.5YR 3/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (6 cm de prof), capa de transición de color marrón café y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:38 am	Código de Punto: <b>M-21-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 246
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 353671 m	N: 8818255 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 10R 2.5/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (12 cm de prof), capa de transición de color marrón café y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 10:42 am	Código de Punto: <b>M-21-3</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 245
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 353673 m	N: 8818163 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 5YR 2.5/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof), capa de transición de color marrón café y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 11:02 am	Código de Punto: <b>M-22-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 211
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354586 m	N: 8817323 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 5YR 2.5/1</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (15 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro y húmedo. Compacidad a mayor a profundidad</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 21/10/2018	Hora: 11:07 am	Código de Punto: <b>M-22-2</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 210
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354636 m	N: 8817280 m	Pto. Reubicado: Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso</p> <p><u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)</p> <p><u>Color:</u> 5YR 3/2</p> <p><u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media</p> <p><u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (6 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro. Compacidad y humedad a mayor a profundidad</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 11:10 am	<b>Código de Punto:</b> M-22-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 211
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354704 m	<b>N:</b> 8817221 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 		<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)  <u>Pedregosidad:</u> Bajamente pedregoso  <u>Pendiente:</u> Pendiente plana (0,2%)  <u>Color:</u> 10R 2.5/2  <u>Textura:</u> Suelo Franco Arcillo Arenoso  <u>Raíces:</u> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad media  <u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna  <u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación  <u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof), capa de transición de color marrón café oscuro. Compacidad y humedad a mayor a profundidad	

<b>Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO</b>			
<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 11:37 am	<b>Código de Punto:</b> M-23-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 257
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356214 m	<b>N:</b> 8819211 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si
<b>Fotografía</b> 		<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)  <u>Pedregosidad:</u> Pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)  <u>Pendiente:</u> Pendiente inclinada (10%)  <u>Color:</u> 2.5YR 3/3  <u>Textura:</u> Suelo Franco Arenoso  <u>Raíces:</u> Raíces fibrosas delgadas, densidad media  <u>Vegetación:</u> Pajonal (ichu) y césped de puna  <u>Tiempo:</u> Cielo nublado, ligera precipitación  <u>Observaciones:</u> Contenido de M.O. (5 cm de prof), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado. Material rocoso a 30 cm de profundidad	

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 11:48 am	<b>Código de Punto:</b> M-23-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 266
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356258 m	<b>N:</b> 8819222 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (10%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (3 cm de prof), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado.</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 21/10/2018	<b>Hora:</b> 11:48 am	<b>Código de Punto:</b> M-23-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 257
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 356308 m	<b>N:</b> 8819207 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (10%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/3</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, ligera precipitación</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (3 cm de prof), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado. Material rocoso a 20 cm de profundidad</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 11:36 am	<b>Código de Punto:</b> <b>M-24-1</b>
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 221
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 357241 m	<b>N:</b> 8817515 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 6%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/3</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, granizada</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado. Presencia de ganado (alpacas)</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 19/10/2018	<b>Hora:</b> 11:20 am	<b>Código de Punto:</b> <b>M-24-2</b>
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 231
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b> E: 356948 m	<b>N:</b> 8817376 m	<b>Pto. Reubicado:</b> No	

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 6%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, granizada</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado. Presencia de ganado (alpacas)</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 19/10/2018	Hora: 10:54 am	Código de Punto: <b>M-24-4</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 214
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 356949 m	N: 8817175 m	Pto. Reubicado: <b>No</b>

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (afloramientos rocosos a los alrededores)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 6%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado, granizada</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), capa de transición de color marrón rojizo anaranjado. Fragmentos rocosos a 30 cm de profundidad.</p>
---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

Tesista: Heiner Saldaña Melgarejo	Fecha: 20/10/2018	Hora: 09:44 am	Código de Punto: <b>M-25-1</b>
Departamento: Pasco	Provincia: Pasco	Distrito: Simón Bolívar	Altitud (msnm): 4 257
T. de muestreo: Nivel de Fondo	T. de muestra: Simple y superficial	Tipo de sondeo: Manual	Instrumento: Pico y pala
Coordenadas UTM (WGS-84)	E: 354520 m	N: 8824289 m	Pto. Reubicado: <b>Si</b>

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 8%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 2.5/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado y soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.) transición de color marrón café oscuro y húmedo</p>
--	---

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 09:45 am	<b>Código de Punto:</b> M-25-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 248
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354348 m	<b>N:</b> 8824248 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 8%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 2.5/1</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo despejado y soleado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.) transición de color marrón café oscuro y húmedo</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 10:01 am	<b>Código de Punto:</b> M-25-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 244
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 354219 m	<b>N:</b> 8824264 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente inclinada (&gt; 8%)</p> <p><b>Color:</b> 10R 2.5/2</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas gruesas y delgadas, densidad alta</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo ligeramente nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (10 cm de prof.) transición de color marrón café oscuro y húmedo</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 10:52 am	<b>Código de Punto:</b> M-26-1
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 320
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 355786 m	<b>N:</b> 8824316 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 5YR 6/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (4 cm de prof.), transición de color marrón rojizo anaranjado. Presencia de ganado y parcelas agrícolas cercanas</p>
---	--

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 10:55 am	<b>Código de Punto:</b> M-26-2
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 326
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84)</b>	<b>E:</b> 355916 m	<b>N:</b> 8824317 m	<b>Pto. Reubicado:</b> Si

<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)</p> <p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/4</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (5 cm de prof.), transición de color marrón rojizo anaranjado. Presencia de ganado y parcelas agrícolas cercanas</p>
--	--

 <p>Universidad Nacional <b>Federico Villarreal</b></p>	<p><b>FICHA DE MUESTREO DE SUELOS</b></p>	
--	---	---

**Tesis: NIVELES DE REFERENCIA PARA METALES PESADOS EN EL SUELO – CERRO DE PASCO**

<b>Tesista:</b> Heiner Saldaña Melgarejo	<b>Fecha:</b> 20/10/2018	<b>Hora:</b> 11:08 am	<b>Código de Punto:</b> M-26-3
<b>Departamento:</b> Pasco	<b>Provincia:</b> Pasco	<b>Distrito:</b> Simón Bolívar	<b>Altitud (msnm):</b> 4 326
<b>T. de muestreo:</b> Nivel de Fondo	<b>T. de muestra:</b> Simple y superficial	<b>Tipo de sondeo:</b> Manual	<b>Instrumento:</b> Pico y pala
<b>Coordenadas UTM (WGS-84) E:</b> 356003 m		<b>N:</b> 8824557 m <b>Pto. Reubicado:</b> Si	

<b>Fotografía</b> 	<b>Descripción</b> (características texturales, color, humedad, evidencias encontradas, entre otros.)
	<p><b>Pedregosidad:</b> Moderadamente pedregoso (fragmentos rocosos subangulosos)</p> <p><b>Pendiente:</b> Pendiente ligeramente inclinada (3%)</p> <p><b>Color:</b> 7.5YR 4/6</p> <p><b>Textura:</b> Suelo Franco Arcillo Arenoso</p> <p><b>Raíces:</b> Raíces fibrosas delgadas, densidad media</p> <p><b>Vegetación:</b> Pajonal (ichu) y césped de puna</p> <p><b>Tiempo:</b> Cielo nublado</p> <p><b>Observaciones:</b> Contenido de M.O. (6 cm de prof.), transición de color marrón rojizo anaranjado. Presencia de ganado y parcelas agrícolas cercanas</p>

# **ANEXO N.º 3**

ENSAYOS DE LABORATORIO Y CADENA DE CUSTODIA



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : HEINER SALDAÑA MELGAREJO

Departamento : PASCO  
 Distrito : SIMON BOLIVAR  
 Referencia : H.R. 65528-153SC-18

Provincia : PASCO  
 Predio :  
 Fecha : 30/10/18

Bolt.: 2035

Lab	Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dSm	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	C/C	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
	Claves								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>
14293		M-01	4.26	0.03	0.00	1.71	19.2	67	50	21	29	Fr.Ar.A.	14.40	3.89	0.88	0.11	0.21	3.50	8.59	5.09	35
14294		M-02	4.30	0.03	0.00	2.83	14.7	94	58	21	21	Fr.Ar.A.	16.96	2.16	0.58	0.14	0.23	4.45	7.57	3.12	18
14295		M-03	4.69	0.03	0.00	1.99	16.8	54	58	19	23	Fr.Ar.A.	18.56	6.97	1.68	0.09	0.19	2.35	11.28	8.93	48
14296		M-04	4.43	0.03	0.00	3.24	55.4	90	52	23	25	Fr.Ar.A.	15.68	3.04	0.47	0.15	0.18	2.10	5.94	3.84	24
14297		M-06	6.35	0.16	0.00	6.21	2.9	66	48	31	21	Fr.	25.60	19.00	4.10	0.09	0.22	0.00	23.41	23.41	91
14298		M-07	6.44	0.10	0.00	6.62	5.0	123	44	25	31	Fr.Ar.	32.96	31.56	0.97	0.20	0.23	0.00	32.96	32.96	100
14299		M-11	5.11	0.02	0.00	3.29	13.6	132	48	29	23	Fr.	24.32	7.05	0.87	0.24	0.21	1.40	9.77	8.37	34
14300		M-12	4.35	0.03	0.00	3.81	12.2	46	58	25	17	Fr.A.	14.08	1.36	0.25	0.06	0.17	1.50	3.33	1.83	13
14301		M-13	4.39	0.04	0.00	3.29	29.6	103	58	23	19	Fr.A.	12.32	1.34	0.32	0.14	0.18	2.00	3.98	1.98	16
14302		M-14	5.33	0.05	0.00	3.88	28.3	166	56	27	17	Fr.A.	20.32	8.55	2.55	0.32	0.17	0.10	11.69	11.59	57

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

  
**Dr. Sady García Bendezu**  
 Jefe del Laboratorio





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : HEINER SALDAÑA MELGAREJO

Departamento : PASCO  
 Distrito : SIMON BOLIVAR  
 Referencia : H.R. 65528-153SC-18

Provincia : PASCO  
 Predio :  
 Fecha : 30/10/18

Bolt.: 2035

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases		
								Arena %	Limo %			Arcilla %	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>				Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>
14303	M-15	5.93	0.05	0.00	3.08	4.4	47	50	29	21	Fr.	16.96	10.60	3.05	0.06	0.19	0.10	14.00	13.90	82
14304	M-16	5.76	0.05	0.00	2.76	11.1	424	54	25	21	Fr.Ar.A.	17.92	11.30	1.03	0.86	0.17	0.10	13.45	13.35	75
14305	M-17	5.66	0.09	0.00	7.36	2.3	116	44	25	31	Fr.Ar.	35.68	23.10	1.52	0.22	0.25	0.15	25.23	25.08	70
14306	M-18	6.18	0.17	0.00	9.31	3.5	85	62	19	19	Fr.A.	39.04	24.20	1.12	0.12	0.22	0.00	25.66	25.66	66
14307	M-19	5.80	0.11	0.00	8.28	2.4	93	52	19	29	Fr.Ar.A.	38.40	36.51	1.38	0.15	0.26	0.10	38.40	38.30	100
14308	M-21	6.01	0.10	0.00	8.28	20.7	86	52	21	27	Fr.Ar.A.	34.88	23.00	0.97	0.12	0.25	0.00	24.34	24.34	70
14309	M-22	6.31	0.09	0.00	10.34	11.5	64	54	21	25	Fr.Ar.A.	38.88	29.70	1.00	0.09	0.20	0.00	30.99	30.99	80
14310	M-23	6.70	0.08	0.00	3.79	2.8	39	58	27	15	Fr.A.	25.92	14.40	4.63	0.04	0.16	0.00	19.23	19.23	74
14311	M-24	4.60	0.03	0.00	2.32	26.0	50	48	25	27	Fr.Ar.A.	14.40	1.27	0.33	0.07	0.17	1.35	3.19	1.84	13
14312	M-25	5.54	0.05	0.00	4.41	2.6	51	52	25	23	Fr.Ar.A.	23.52	17.20	0.53	0.08	0.19	0.10	18.11	18.01	77
14313	M-26	4.60	0.04	0.00	1.96	3.0	46	54	23	23	Fr.Ar.A.	28.00	1.53	0.58	0.06	0.15	0.90	3.22	2.32	8

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso.  
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar = Arcilloso



*Dr. Sady García Bendezu*  
 Jefe del Laboratorio

## INFORME DE ENSAYO N° 184924-A CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : HEINER SALDAÑA MELGAREJO  
 Dirección : Parque los Astronautas N° 154, Urb. Mesa Redonda - Distrito San Martín de Porres  
 Solicitado Por : Heiner Saldaña Melgarejo  
 Referencia : Cotización N° 2284-18R01  
 Proyecto : Niveles de Referencia para Metales Pesados en el Suelo - Cerro de Pasco  
 Procedencia : Distrito Simon Bolívar, Provincia y Departamento de Pasco  
 Muestreo Realizado Por : El cliente  
 Cantidad de Muestra : 21  
 Producto : Suelo  
 Fecha de Recepción : 22/10/2018  
 Fecha de Ensayo : 22/10/2018 al 14/11/2018  
 Fecha de Emisión : 16/11/2018

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

### I. Resultados

Código de Laboratorio	184924-01	184924-02	184924-03	184924-04	184924-05	184924-06			
Código de Cliente	M-01	M-02	M-13	M-14	M-24	M-07			
Fecha de Muestreo	19/10/2018	19/10/2018	19/10/2018	19/10/2018	19/10/2018	21/10/2018			
Hora de Muestreo (h)	16:34	15:26	14:30	13:28	12:15	08:35			
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E:356323 N:8823053	E:356081 N:8822076	E:356614 N:8820527	E:356774 N:8819676	E:356946 N:8817376	E:353850 N:8820719			
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo			
Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados						
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>									
Ag	Plata	mg/Kg PS	0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16
Al	Aluminio	mg/Kg PS	0,10	16720	19375	13330	17150	14783	31463
As	Arsénico	mg/Kg PS	2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21
B	Boro	mg/Kg PS	1,99	132,2	140,4	148,7	142,2	146,4	119,7
Ba	Bario	mg/Kg PS	0,34	32,72	43,64	46,44	54,29	43,86	217,9
Be	Berilio	mg/Kg PS	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Ca	Calcio	mg/Kg PS	1,49	3366	845,6	461,2	3370	435,3	786,3
Cd	Cadmio	mg/Kg PS	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ce	Cerio	mg/Kg PS	0,29	19,45	14,17	15,51	13,19	16,89	37,76
Co	Cobalto	mg/Kg PS	0,10	6,70	6,69	4,52	5,44	6,28	5,20
Cr	Cromo	mg/Kg PS	0,03	17,82	14,03	20,63	16,07	23,43	19,12
Cu	Cobre	mg/Kg PS	0,04	7,36	6,69	9,37	13,31	13,86	16,58
Fe	Hierro	mg/Kg PS	0,05	15461	18278	16084	20649	17630	20999
K	Potasio	mg/Kg PS	0,31	3596	3128	2164	3158	2437	3067
Li	Litio	mg/Kg PS	1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21
Mg	Magnesio	mg/Kg PS	0,32	3206	2744	1206	2676	1206	331,3
Mn	Manganeso	mg/Kg PS	0,04	699,2	756,2	823,5	565,4	623,7	324,3
Mo	Moibdeno	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na	Sodio	mg/Kg PS	0,94	68,30	37,02	20,85	39,82	21,67	89,63
Ni	Niquel	mg/Kg PS	0,05	15,81	13,70	12,18	12,34	13,70	13,94
P	Fósforo	mg/Kg PS	0,69	2900	2053	2063	2852	2690	1323
Pb	Plomo	mg/Kg PS	0,87	22,35	43,10	30,60	36,37	49,60	23,72
Sb	Antimonio	mg/Kg PS	0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54
Se	Selenio	mg/Kg PS	0,82	<0,82	<0,82	<0,82	<0,82	<0,82	<0,82
Si	Silicio	mg/Kg PS	0,62	999,7	939,7	842,7	842,9	859,8	756,9
Sn	Estanho	mg/Kg PS	0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73
Sr	Estroncio	mg/Kg PS	0,12	6,64	6,18	7,53	16,60	37,75	37,60
Ti	Titanio	mg/Kg PS	0,06	62,20	63,60	61,70	73,20	66,20	60,20
Tl	Talio	mg/Kg PS	0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74
V	Vanadio	mg/Kg PS	0,03	30,70	38,36	32,18	35,79	40,14	73,78
Zn	Zinc	mg/Kg PS	0,19	55,67	61,67	62,62	54,04	63,91	94,06

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método; L.D.M. = Límite de detección del método; "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado; ">" = Mayor al rango de trabajo; "-" = No Analizado

## INFORME DE ENSAYO N° 184924-A CON VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio	184924-07	184924-08	184924-09	184924-10	184924-11	184924-12		
Código de Cliente	M-17	M-18	M-19	M-21	M-22	M-23		
Fecha de Muestreo	21/10/2018	21/10/2018	21/10/2018	21/10/2018	21/10/2018	21/10/2018		
Hora de Muestreo (h)	09:08	09:43	10:15	10:42	11:10	11:48		
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E:352812 N:8919036	E:381971 N:8919157	E:353034 N:8918683	E:353671 N:8818255	E:354836 N:8817280	E:356268 N:8819222		
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados					
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>								
Ag Plata	mg/Kg PS	0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16		
Al Aluminio	mg/Kg PS	0.10	33826	32230	31558	31884	22829	24719
As Arsénico	mg/Kg PS	2.21	<2.21	<2.21	<2.21	<2.21	<2.21	<2.21
B Boro	mg/Kg PS	1.99	121.5	142.7	144.7	126.6	143.2	106.3
Ba Bario	mg/Kg PS	0.34	229.1	212.3	230.5	204.9	235.5	105.8
Be Berilio	mg/Kg PS	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Ca Calcio	mg/Kg PS	1.49	6928	6995	7570	8903	9449	10286
Cd Cadmio	mg/Kg PS	0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Ce Cerio	mg/Kg PS	0.29	41.37	38.83	37.73	36.62	36.31	44.57
Co Cobalto	mg/Kg PS	0.10	6.85	4.22	6.92	4.29	6.67	30.73
Cr Cromo	mg/Kg PS	0.03	17.89	17.96	17.84	15.89	45.33	97.10
Cu Cobre	mg/Kg PS	0.04	18.79	30.30	24.78	31.80	35.62	29.30
Fe Hierro	mg/Kg PS	0.05	24378	23891	23761	22808	26109	38999
K Potasio	mg/Kg PS	0.31	2836	2344	3115	2400	2710	2242
Li Litio	mg/Kg PS	1.21	<1.21	<1.21	<1.21	<1.21	<1.21	<1.21
Mg Magnesio	mg/Kg PS	0.32	4115	3630	4308	3544	2189	11406
Mn Manganeso	mg/Kg PS	0.04	288.5	138.3	471.0	143.4	229.5	879.3
Mo Molibdeno	mg/Kg PS	0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Na Sodio	mg/Kg PS	0.94	93.02	112.1	109.0	114.0	44.47	89.63
Ni Níquel	mg/Kg PS	0.65	14.09	12.98	15.79	12.98	31.16	160.1
P Fósforo	mg/Kg PS	0.69	1249	1467	1277	1275	1425	2476
Pb Plomo	mg/Kg PS	0.87	28.10	29.90	49.00	50.10	21.48	33.80
Sb Antimonio	mg/Kg PS	0.54	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54	<0.54
Se Selenio	mg/Kg PS	0.82	<0.82	<0.82	<0.82	<0.82	<0.82	<0.82
Si Silicio	mg/Kg PS	0.62	682.3	664.1	761.6	744.4	724.6	716.4
Sn Estaño	mg/Kg PS	0.73	<0.73	<0.73	<0.73	<0.73	<0.73	<0.73
Sr Estroncio	mg/Kg PS	0.12	34.70	46.50	36.96	39.19	40.45	65.51
Ti Titanio	mg/Kg PS	0.68	65.57	75.61	64.86	68.54	89.79	1033
Tl Talio	mg/Kg PS	0.74	<0.74	<0.74	<0.74	<0.74	<0.74	<0.74
V Vanadio	mg/Kg PS	0.63	84.94	75.21	86.55	73.63	72.89	80.18
Zn Zinc	mg/Kg PS	0.19	122.0	119.0	132.0	116.8	96.80	81.85

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método; L.D.M. = Límite de detección del método; ">" Mayor que el L.C.M. o L.D.M. indicado; ">" Mayor al rango de trabajo; "-" = No Analizado.

**INFORME DE ENSAYO N° 184924-A  
CON VALOR OFICIAL**

Código de Laboratorio	184924-13	184924-14	184924-15	184924-16	184924-17	184924-18
Código de Cliente	M-16	M-15	M-12	M-11	M-08	M-04
Fecha de Muestreo	20/10/2018	20/10/2018	20/10/2018	20/10/2018	20/10/2018	20/10/2018
Hora de Muestreo (h)	16:31	15:47	15:10	14:34	13:49	12:28
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E:354483 N:8820487	E:355141 N:8819947	E:355190 N:8820377	E:354802 N:8820799	E:354567 N:8821531	E:354403 N:8823365
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultado						
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>									
Ag Plata	mg/Kg PS	0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16
Al Aluminio	mg/Kg PS	0,10	16401	17916	11127	25337	18921	16145	
As Arsénico	mg/Kg PS	2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21	<2,21	
B Boro	mg/Kg PS	1,99	152,4	146,9	164,3	131,7	144,1	144,1	
Ba Bario	mg/Kg PS	0,34	58,99	106,6	46,26	68,09	101,4	63,66	
Be Berilio	mg/Kg PS	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	
Ca Calcio	mg/Kg PS	1,49	3169	4220	245,6	1666	6157	1092	
Cd Cadmio	mg/Kg PS	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	
Ce Cerio	mg/Kg PS	0,25	16,73	27,94	15,20	28,04	24,73	19,01	
Co Cobalto	mg/Kg PS	0,10	2,96	7,38	2,45	3,30	4,15	3,19	
Cr Cromo	mg/Kg PS	0,03	12,46	58,62	23,67	15,14	20,32	16,01	
Cu Cobre	mg/Kg PS	0,04	14,10	12,68	10,80	6,30	17,84	7,33	
Fe Hierro	mg/Kg PS	0,05	12152	20935	11058	14803	14297	13249	
K Potasio	mg/Kg PS	0,31	3339	1911	1995	1845	1745	1891	
Li Litio	mg/Kg PS	1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21	<1,21	
Mg Magnesio	mg/Kg PS	0,32	2104	3492	734,8	2345	1873	1170	
Mn Manganeso	mg/Kg PS	0,04	152,4	166,7	122,5	278,2	184,7	504,1	
Mo Molibdeno	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	
Na Sodio	mg/Kg PS	0,54	6,65	30,30	<0,54	38,53	14,94	<0,54	
Ni Niquel	mg/Kg PS	0,05	10,45	39,45	11,12	8,35	15,80	9,94	
P Fósforo	mg/Kg PS	0,69	2899	1674	1362	1795	1312	3434	
Pb Plomo	mg/Kg PS	0,67	41,90	48,70	22,40	27,50	55,80	41,00	
Sb Antimonio	mg/Kg PS	0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	
Se Selenio	mg/Kg PS	0,62	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62	
Si Silicio	mg/Kg PS	0,62	777,4	621,7	693,8	672,1	645,0	642,9	
Sn Estaño	mg/Kg PS	0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73	<0,73	
Sr Estroncio	mg/Kg PS	0,12	16,67	31,81	16,98	12,58	28,82	21,92	
Ti Titanio	mg/Kg PS	0,08	61,01	620,6	47,01	67,82	24,83	45,02	
Tl Talio	mg/Kg PS	0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74	<0,74	
V Vanadio	mg/Kg PS	0,03	27,36	58,47	29,09	38,22	38,39	33,97	
Zn Zinc	mg/Kg PS	0,19	86,72	87,82	28,67	62,56	41,06	56,31	

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método; L.D.M. = Límite de detección del método; "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado; ">" = Mayor el rango de trabajo; "—" = No Analizado.

## INFORME DE ENSAYO N° 184924-A CON VALOR OFICIAL

Código de Laboratorio		184924-19	184924-20	184924-21
Código de Cliente		M-03	M-26	M-25
Fecha de Muestreo		20/10/2018	20/10/2018	20/10/2018
Hora de Muestreo (h)		11:50	11:08	10:01
Ubicación Geográfica (WGS 84)		E:356123 N:8822532	E:355916 N:8824317	E:354620 N:8824289
Tipo de Producto		Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados		
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>					
Ag Plata	mg/Kg PS	0,16	<0,16	<0,16	<0,16
Al Aluminio	mg/Kg PS	0,10	17741	10890	19734
As Arsénico	mg/Kg PS	2,21	<2,21	<2,21	<2,21
B Boro	mg/Kg PS	1,99	160,1	150,2	157,1
Ba Bario	mg/Kg PS	0,24	57,38	29,24	68,04
Be Berilio	mg/Kg PS	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Ca Calcio	mg/Kg PS	1,49	2574	1642	4290
Cd Cadmio	mg/Kg PS	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ce Cerio	mg/Kg PS	0,25	22,31	15,89	24,28
Co Cobalto	mg/Kg PS	0,10	5,39	3,20	2,98
Cr Cromo	mg/Kg PS	0,03	15,85	15,61	10,49
Cu Cobre	mg/Kg PS	0,04	10,98	3,44	8,06
Fe Hierro	mg/Kg PS	0,06	15746	13586	12106
K Potasio	mg/Kg PS	0,31	2539	1618	2902
Li Litio	mg/Kg PS	1,21	<1,21	<1,21	<1,21
Mg Magnesio	mg/Kg PS	0,32	3901	982,9	2316
Mn Manganeso	mg/Kg PS	0,04	646,3	470,0	240,9
Mo Molibdeno	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na Sodio	mg/Kg PS	0,94	10,65	<0,94	6,16
Ni Níquel	mg/Kg PS	0,05	13,61	9,80	7,00
P Fósforo	mg/Kg PS	0,69	1911	2868	1751
Pb Plomo	mg/Kg PS	0,87	31,40	37,50	22,60
Sb Antimonio	mg/Kg PS	0,64	<0,64	<0,64	<0,64
Se Selenio	mg/Kg PS	0,82	<0,82	<0,82	<0,82
Si Silicio	mg/Kg PS	0,62	805,6	710,9	729,5
Sn Estaño	mg/Kg PS	0,73	<0,73	<0,73	<0,73
Sr Estroncio	mg/Kg PS	0,12	7,17	9,77	10,31
Ti Titanio	mg/Kg PS	0,06	56,28	62,60	42,30
Tl Talio	mg/Kg PS	0,74	<0,74	<0,74	<0,74
V Vanadio	mg/Kg PS	0,03	36,32	27,75	26,09
Zn Zinc	mg/Kg PS	0,19	62,33	57,59	57,29

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método; L.D.M. = Límite de detección del método; "<" Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado; ">" Mayor al rango de trabajo; "—" = No Analizado.

## INFORME DE ENSAYO N° 184924-A CON VALOR OFICIAL

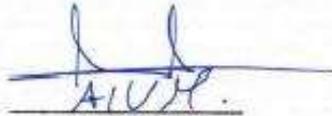
### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
<b>Metales (ICP-AES)</b>		
Metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn)	EPA Method 3050-B; Rev. 02., 1996 EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994	Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry ICP-AES.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

### III. Observaciones

El presente Informe de Ensayo ha sido generado a solicitud del cliente para los fines que él estime convenientes.



**Alfonso Vilca M.**  
GCSSA  
C.Q.P. N° 587

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.  
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.  
El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años.  
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.  
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

\*\* FIN DEL INFORME \*\*



**CADENA DE CUSTODIA**

I.E. N.º: **1810924** Pág. **02** de **04**

**DATOS DEL CLIENTE**

ENVIAR INFORME DE ENVIADO A:  M.S.  C.A.  B.O.  Eml.  Otro

INDICAR CANTIDAD EN los recuadros inferiores, los análisis reportados, por cada muestra.

TELÉFONO: **9614 81 541** E-MAIL: **honor.solutions@gmail.com**  
 CONTACTO: **Honor Solutions** / **Kalyceops** / **Ruben Serviz**  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS: **Industria**

SEÑALAR FACTURAS:  PAGO SOCIAL:

PLAZO:  DIRECCIÓN:

INDICAR DEL PROYECTO:

PRECEDENCIA:

Nº de muestra	Código de Cliente	Muestras		Método y Producto	Ubicación, UTM	Muestra	Análisis
		Fecha (dd-mm)	Hora (hh:mm)				
M-07		21-10-16	8:35	Suelo	E: 353 654 N: 6 825 719	X	
M-17		21-10-16	9:08	Suelo	E: 352 612 N: 6 819 836	X	
M-18		21-10-16	9:43	Suelo	E: 351 971 N: 6 819 157	X	
M-19		21-10-16	10:15	Suelo	E: 353 634 N: 6 816 683	X	
M-21		21-10-16	10:42	Suelo	E: 353 671 N: 6 818 255	X	
M-22		21-10-16	11:10	Suelo	E: 354 836 N: 6 817 280	X	
M-23		21-10-16	11:48	Suelo	E: 354 286 N: 6 819 212	X	

**ENVIROTEST SAC**  
**22 OCT 2018**

**PLANEO DE MUESTREO**

INFORMACIÓN DEL MUESTREO:  Muestreo de Agua  Muestreo de Suelo  Muestreo de Aire  Muestreo de Sedimento  Muestreo de Plankton  Muestreo de Bacterias  Muestreo de Virus  Muestreo de Metales  Muestreo de Nutrientes  Muestreo de Hidrocarburos  Muestreo de Pesticidas  Muestreo de Fungos  Muestreo de Algas  Muestreo de Invertebrados  Muestreo de Plantas  Muestreo de Otros

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:  Muestreo de Agua  Muestreo de Suelo  Muestreo de Aire  Muestreo de Sedimento  Muestreo de Plankton  Muestreo de Bacterias  Muestreo de Virus  Muestreo de Metales  Muestreo de Nutrientes  Muestreo de Hidrocarburos  Muestreo de Pesticidas  Muestreo de Fungos  Muestreo de Algas  Muestreo de Invertebrados  Muestreo de Plantas  Muestreo de Otros

INGENIERO RESPONSABLE: **Honor Solutions H**

FECHA: **22/10/16**

**PLANEO DE MUESTREO**

INGENIERO RESPONSABLE: **Honor Solutions H**

FECHA: **22/10/16**

SEÑALAR FACTURAS:  PAGO SOCIAL:

INDICAR DEL PROYECTO:

PRECEDENCIA:



**CADENA DE CUSTODIA**

I.E. N° 184927

Pág. 04 de 04

M.S.  C.A.  S.O.  Emi.  Otro

Agua  OIL

Nº de muestra	Código de Cliente	Muestreo		Materia o Producto	Ubicación UTM	Número de botes por punto de muestreo	ANÁLISIS INDICADORES
		Fecha (d/m/a)	Hora (p.m.)				
M-04		20-10-18		Suelo	E: 354 463 N: 8 823 355	X	
M-03		20-10-18		Suelo	E: 356 483 N: 8 822 392	X	
M-26		20-10-18		Suelo	E: 355 916 N: 8 824 317	X	
M-25		20-10-18		Suelo	E: 357 520 N: 8824 289	X	

ENVIROTEST SAC  
22 OCT 2018  
ENCERRADO

**EMPRESA REALIZADA POR:**

Empresa: **envirotest**  
Responsable: **Helmer Salazar M.**  
Fecha: **22/10/18**

**EMPRESA REPRESENTANTE DEL CLIENTE:**

Nombre: **Helmer Salazar M.**  
Cargo: **08145**  
Firma: *[Firma]*

Ubicación del sitio de muestreo: **Helmer Salazar M. / 08145**

Objeto de los análisis de las muestras: **Control de la Vereda**

# **ANEXO N.º 4**

CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad

**Acreditación**

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

## **ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY S.A.C.**

**Laboratorio de Ensayo**

En su sede ubicada en: Calle B Mz. C Lt. 40, Urb. Habitación Industrial Panamericana Norte Distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 01 de mayo de 2018

Fecha de Vencimiento: 30 de abril de 2022

  
MÓNICA MUÑOZ CABANILLAS  
Directora de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 3115-2018-REG-04/04  
Contrato N° : 020-2018-01/04/04-04  
Registro N° : 111-926

Fecha de emisión: 20 de junio de 2018

El presente certificado tiene validez con su correspondiente alcance de acreditación y sesión de notificación, todo que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/areas/areas/areas/acreditacion](http://www.inacal.gob.pe/areas/areas/areas/acreditacion) al momento de hacer uso de procesos certificados.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) de Test Laboratories Accreditation Corporation (TLAC) a través del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) de Test Laboratories Accreditation Corporation (TLAC) a través del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) de Test Laboratories Accreditation Corporation (TLAC).

DA-acr-01P-03M Ver 02

# **ANEXO N.º 5**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN PROUCL

UCL Statistics for Uncensored Full Data Sets			
<b>User Selected Options</b>			
<b>Date/Time of Computation</b>	ProUCL 5.127/08/2019 8:36:11 p. m.		
<b>From File</b>	ProUCL-metales.xls		
<b>Full Precision</b>	OFF		
<b>Confidence Coefficient</b>	95%		
<b>Number of Bootstrap Operations</b>	2000		
<b>ALUMINIO</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	10890	Mean	21147
Maximum	33826	Median	18921
SD	7312	Std. Error of Mean	1596
Coefficient of Variation	0.346	Skewness	0.522
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.904	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.196	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	23899	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	23965
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	23929
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.572	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.743	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.156	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.19	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	8.988	k star (bias corrected MLE)	7.736
Theta hat (MLE)	2353	Theta star (bias corrected MLE)	2734
nu hat (MLE)	377.5	nu star (bias corrected)	324.9
MLE Mean (bias corrected)	21147	MLE Sd (bias corrected)	7603
		Approximate Chi Square Value (0.05)	284.1
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	281.2
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	24180	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	24432

Lognormal GOF Test			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.941	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.143	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
Lognormal Statistics			
Minimum of Logged Data	9.296	Mean of logged Data	9.903
Maximum of Logged Data	10.43	SD of logged Data	0.346
Assuming Lognormal Distribution			
95% H-UCL	24506	90% Chebyshev (MVUE) UCL	26031
95% Chebyshev (MVUE) UCL	28241	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	31310
99% Chebyshev (MVUE) UCL	37337		
Nonparametric Distribution Free UCL Statistics			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
Nonparametric Distribution Free UCLs			
95% CLT UCL	23771	95% Jackknife UCL	23899
95% Standard Bootstrap UCL	23763	95% Bootstrap-t UCL	24270
95% Hall's Bootstrap UCL	23891	95% Percentile Bootstrap UCL	23645
95% BCA Bootstrap UCL	23826		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	25933	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	28102
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	31111	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	37023
Suggested UCL to Use			
95% Adjusted Gamma UCL	24432		
Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.			
Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.			
These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).			
However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.			
BARIO			
General Statistics			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	29.24	Mean	108.5
Maximum	235.5	Median	68.59
SD	76.67	Std. Error of Mean	16.73
Coefficient of Variation	0.706	Skewness	0.787
Normal GOF Test			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.8	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Normal at 5% Significance Level	

Lilliefors Test Statistic	0.224	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	137.4	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	139.1
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	137.9
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	1.117	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.753	Data Not Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.186	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.192	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data follow Appr. Gamma Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	2.269	k star (bias corrected MLE)	1.977
Theta hat (MLE)	47.83	Theta star (bias corrected MLE)	54.9
nu hat (MLE)	95.31	nu star (bias corrected)	83.03
MLE Mean (bias corrected)	108.5	MLE Sd (bias corrected)	77.19
		Approximate Chi Square Value (0.05)	63.03
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	61.69
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	143	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	146.1
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.901	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.178	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Approximate Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	3.376	Mean of logged Data	4.451
Maximum of Logged Data	5.462	SD of logged Data	0.703
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	154.9	90% Chebyshev (MVUE) UCL	161.4
95% Chebyshev (MVUE) UCL	185.5	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	219
99% Chebyshev (MVUE) UCL	284.7		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			

95% CLT UCL	136.1	95% Jackknife UCL	137.4
95% Standard Bootstrap UCL	135.7	95% Bootstrap-t UCL	141
95% Hall's Bootstrap UCL	135.7	95% Percentile Bootstrap UCL	136.1
95% BCA Bootstrap UCL	139.3		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	158.7	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	181.5
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	213	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	275
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Adjusted Gamma UCL	146.1		
<p>When a data set follows an approximate (e.g., normal) distribution passing one of the GOF test</p> <p>When applicable, it is suggested to use a UCL based upon a distribution (e.g., gamma) passing both GOF tests in ProUCL</p>			
<p>Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.</p> <p>Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.</p> <p>These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).</p> <p>However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.</p>			
<b>CROMO</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	10.49	Mean	24.4
Maximum	97.1	Median	17.69
SD	20	Std. Error of Mean	4.364
Coefficient of Variation	0.819	Skewness	2.922
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.571	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.372	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	31.93	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	34.55
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	32.39
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	2.532	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.749	Data Not Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.301	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.191	Data Not Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Data Not Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			

<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	3.028	k star (bias corrected MLE)	2.627
Theta hat (MLE)	8.059	Theta star (bias corrected MLE)	9.288
nu hat (MLE)	127.2	nu star (bias corrected)	110.4
MLE Mean (bias corrected)	24.4	MLE Sd (bias corrected)	15.06
		Approximate Chi Square Value (0.05)	87.1
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	85.52
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50))	30.92	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	31.49
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.782	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.257	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	2.35	Mean of logged Data	3.021
Maximum of Logged Data	4.576	SD of logged Data	0.524
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	29.78	90% Chebyshev (MVUE) UCL	31.7
95% Chebyshev (MVUE) UCL	35.48	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	40.73
99% Chebyshev (MVUE) UCL	51.03		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data do not follow a Discernible Distribution (0.05)</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	31.58	95% Jackknife UCL	31.93
95% Standard Bootstrap UCL	31.36	95% Bootstrap-t UCL	41.83
95% Hall's Bootstrap UCL	51.74	95% Percentile Bootstrap UCL	32.1
95% BCA Bootstrap UCL	35.94		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	37.5	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	43.42
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	51.66	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	67.82
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Chebyshev (Mean, Sd) UCL	43.42		
Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.			
Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.			
These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).			
However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.			

<b>COBRE</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	3.44	Mean	15.98
Maximum	35.62	Median	13.31
SD	9.253	Std. Error of Mean	2.019
Coefficient of Variation	0.579	Skewness	0.864
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.895	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data Not Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.2	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	19.46	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	19.71
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	19.53
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.41	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.749	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.132	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.191	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	3.254	k star (bias corrected MLE)	2.821
Theta hat (MLE)	4.911	Theta star (bias corrected MLE)	5.666
nu hat (MLE)	136.7	nu star (bias corrected)	118.5
MLE Mean (bias corrected)	15.98	MLE Sd (bias corrected)	9.515
		Approximate Chi Square Value (0.05)	94.33
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	92.68
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	20.07	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	20.43
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.963	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.102	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			

Minimum of Logged Data	1.235	Mean of logged Data	2.61
Maximum of Logged Data	3.573	SD of logged Data	0.596
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	21.42	90% Chebyshev (MVUE) UCL	22.68
95% Chebyshev (MVUE) UCL	25.66	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	29.81
99% Chebyshev (MVUE) UCL	37.96		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	19.3	95% Jackknife UCL	19.46
95% Standard Bootstrap UCL	19.25	95% Bootstrap-t UCL	20.16
95% Hall's Bootstrap UCL	19.43	95% Percentile Bootstrap UCL	19.23
95% BCA Bootstrap UCL	19.6		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	22.04	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	24.78
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	28.59	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	36.07
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Adjusted Gamma UCL	20.43		
<p>Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.</p> <p>Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.</p> <p>These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).</p> <p>However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.</p>			
<b>MANGANESO</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	122.5	Mean	405.1
Maximum	879.3	Median	324.3
SD	236.1	Std. Error of Mean	51.51
Coefficient of Variation	0.583	Skewness	0.427
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.914	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.166	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Normal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	493.9	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	495
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	494.7

<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.614	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.75	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.151	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.191	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	2.875	k star (bias corrected MLE)	2.496
Theta hat (MLE)	140.9	Theta star (bias corrected MLE)	162.3
nu hat (MLE)	120.8	nu star (bias corrected)	104.8
MLE Mean (bias corrected)	405.1	MLE Sd (bias corrected)	256.4
		Approximate Chi Square Value (0.05)	82.22
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	80.68
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	516.6	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	526.4
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.924	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.173	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	4.808	Mean of logged Data	5.82
Maximum of Logged Data	6.779	SD of logged Data	0.644
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	563.6	90% Chebyshev (MVUE) UCL	593.1
95% Chebyshev (MVUE) UCL	676.1	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	791.2
99% Chebyshev (MVUE) UCL	1017		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	489.8	95% Jackknife UCL	493.9
95% Standard Bootstrap UCL	486.3	95% Bootstrap-t UCL	502.2
95% Hall's Bootstrap UCL	493.5	95% Percentile Bootstrap UCL	488
95% BCA Bootstrap UCL	493.8		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	559.6	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	629.6
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	726.8	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	917.6
<b>Suggested UCL to Use</b>			

95% Student's-t UCL	493.9		
<p>Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.</p> <p>Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.</p> <p>These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).</p> <p>However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.</p>			
<b>PLOMO</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	21.48	Mean	35.56
Maximum	55.8	Median	33.8
SD	10.84	Std. Error of Mean	2.366
Coefficient of Variation	0.305	Skewness	0.307
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.93	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.126	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Normal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	39.64	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	39.62
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	39.67
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.474	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.743	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.125	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.189	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	11.24	k star (bias corrected MLE)	9.664
Theta hat (MLE)	3.165	Theta star (bias corrected MLE)	3.68
nu hat (MLE)	472	nu star (bias corrected)	405.9
MLE Mean (bias corrected)	35.56	MLE Sd (bias corrected)	11.44
		Approximate Chi Square Value (0.05)	360.2
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	356.9
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	40.08	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	40.45

Lognormal GOF Test			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.935	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.115	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
Lognormal Statistics			
Minimum of Logged Data	3.067	Mean of logged Data	3.526
Maximum of Logged Data	4.022	SD of logged Data	0.31
Assuming Lognormal Distribution			
95% H-UCL	40.52	90% Chebyshev (MVUE) UCL	42.91
95% Chebyshev (MVUE) UCL	46.23	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	50.84
99% Chebyshev (MVUE) UCL	59.89		
Nonparametric Distribution Free UCL Statistics			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
Nonparametric Distribution Free UCLs			
95% CLT UCL	39.45	95% Jackknife UCL	39.64
95% Standard Bootstrap UCL	39.46	95% Bootstrap-t UCL	39.66
95% Hall's Bootstrap UCL	39.52	95% Percentile Bootstrap UCL	39.34
95% BCA Bootstrap UCL	39.39		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	42.66	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	45.88
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	50.34	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	59.11
Suggested UCL to Use			
95% Student's-t UCL	39.64		
Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.			
Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.			
These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).			
However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.			
ZINC			
General Statistics			
Total Number of Observations	21	Number of Distinct Observations	21
		Number of Missing Observations	0
Minimum	28.87	Mean	80.61
Maximum	132	Median	82.58
SD	27.2	Std. Error of Mean	5.935
Coefficient of Variation	0.337	Skewness	0.149
Normal GOF Test			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.962	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Normal at 5% Significance Level	

Lilliefors Test Statistic	0.133	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data appear Normal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	90.85	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	90.58
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	90.88
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.416	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.744	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.179	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.19	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	8.32	k star (bias corrected MLE)	7.163
Theta hat (MLE)	9.689	Theta star (bias corrected MLE)	11.25
nu hat (MLE)	349.4	nu star (bias corrected)	300.9
MLE Mean (bias corrected)	80.61	MLE Sd (bias corrected)	30.12
		Approximate Chi Square Value (0.05)	261.7
Adjusted Level of Significance	0.0383	Adjusted Chi Square Value	258.9
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50))	92.68	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	93.68
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.936	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.908	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.196	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.188	Data Not Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Approximate Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	3.363	Mean of logged Data	4.328
Maximum of Logged Data	4.883	SD of logged Data	0.375
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	95.27	90% Chebyshev (MVUE) UCL	101.4
95% Chebyshev (MVUE) UCL	110.6	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	123.4
99% Chebyshev (MVUE) UCL	148.5		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			

95% CLT UCL	90.37	95% Jackknife UCL	90.85
95% Standard Bootstrap UCL	90.21	95% Bootstrap-t UCL	92.24
95% Hall's Bootstrap UCL	90.97	95% Percentile Bootstrap UCL	90.17
95% BCA Bootstrap UCL	90.13		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	98.41	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	106.5
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	117.7	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	139.7
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Student's-t UCL	90.85		
Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.			
Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.			
These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).			
However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.			
<b>CROMO (sin valores discordantes)</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	18	Number of Distinct Observations	18
		Number of Missing Observations	0
Minimum	10.49	Mean	17.3
Maximum	23.67	Median	17.6
SD	3.399	Std. Error of Mean	0.801
Coefficient of Variation	0.196	Skewness	0.122
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.97	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.897	Data appear Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.14	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.202	Data appear Normal at 5% Significance Level	
Data appear Normal at 5% Significance Level			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	18.7	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	18.64
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	18.7
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.276	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.739	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.115	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.203	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	26.49	k star (bias corrected MLE)	22.11
Theta hat (MLE)	0.653	Theta star (bias corrected MLE)	0.782

nu hat (MLE)	953.6	nu star (bias corrected)	796
MLE Mean (bias corrected)	17.3	MLE Sd (bias corrected)	3.679
		Approximate Chi Square Value (0.05)	731.6
Adjusted Level of Significance	0.0357	Adjusted Chi Square Value	725.6
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50))	18.83	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	18.98
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.961	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.897	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.122	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.202	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	2.35	Mean of logged Data	2.832
Maximum of Logged Data	3.164	SD of logged Data	0.204
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	18.93	90% Chebyshev (MVUE) UCL	19.82
95% Chebyshev (MVUE) UCL	20.96	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	22.53
99% Chebyshev (MVUE) UCL	25.63		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	18.62	95% Jackknife UCL	18.7
95% Standard Bootstrap UCL	18.56	95% Bootstrap-t UCL	18.69
95% Hall's Bootstrap UCL	18.75	95% Percentile Bootstrap UCL	18.61
95% BCA Bootstrap UCL	18.61		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	19.71	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	20.79
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	22.3	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	25.27
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Student's-t UCL	18.7		
<p>Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.</p> <p>Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.</p> <p>These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).</p> <p>However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.</p>			
<b>COBRE (sin valores discordantes)</b>			
<b>General Statistics</b>			
Total Number of Observations	20	Number of Distinct Observations	20

		Number of Missing Observations	0
Minimum	3.44	Mean	15
Maximum	31.8	Median	13
SD	8.295	Std. Error of Mean	1.855
Coefficient of Variation	0.553	Skewness	0.889
<b>Normal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.894	<b>Shapiro Wilk GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.905	Data Not Normal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.193	<b>Lilliefors GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.192	Data Not Normal at 5% Significance Level	
<b>Data Not Normal at 5% Significance Level</b>			
<b>Assuming Normal Distribution</b>			
<b>95% Normal UCL</b>		<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>	
95% Student's-t UCL	18.21	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	18.44
		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	18.27
<b>Gamma GOF Test</b>			
A-D Test Statistic	0.368	<b>Anderson-Darling Gamma GOF Test</b>	
5% A-D Critical Value	0.746	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
K-S Test Statistic	0.125	<b>Kolmogorov-Smirnov Gamma GOF Test</b>	
5% K-S Critical Value	0.195	Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level	
<b>Detected data appear Gamma Distributed at 5% Significance Level</b>			
<b>Gamma Statistics</b>			
k hat (MLE)	3.578	k star (bias corrected MLE)	3.075
Theta hat (MLE)	4.192	Theta star (bias corrected MLE)	4.878
nu hat (MLE)	143.1	nu star (bias corrected)	123
MLE Mean (bias corrected)	15	MLE Sd (bias corrected)	8.553
		Approximate Chi Square Value (0.05)	98.37
Adjusted Level of Significance	0.038	Adjusted Chi Square Value	96.63
<b>Assuming Gamma Distribution</b>			
95% Approximate Gamma UCL (use when n>=50)	18.75	95% Adjusted Gamma UCL (use when n<50)	19.09
<b>Lognormal GOF Test</b>			
Shapiro Wilk Test Statistic	0.961	<b>Shapiro Wilk Lognormal GOF Test</b>	
5% Shapiro Wilk Critical Value	0.905	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
Lilliefors Test Statistic	0.108	<b>Lilliefors Lognormal GOF Test</b>	
5% Lilliefors Critical Value	0.192	Data appear Lognormal at 5% Significance Level	
<b>Data appear Lognormal at 5% Significance Level</b>			
<b>Lognormal Statistics</b>			
Minimum of Logged Data	1.235	Mean of logged Data	2.562
Maximum of Logged Data	3.459	SD of logged Data	0.568

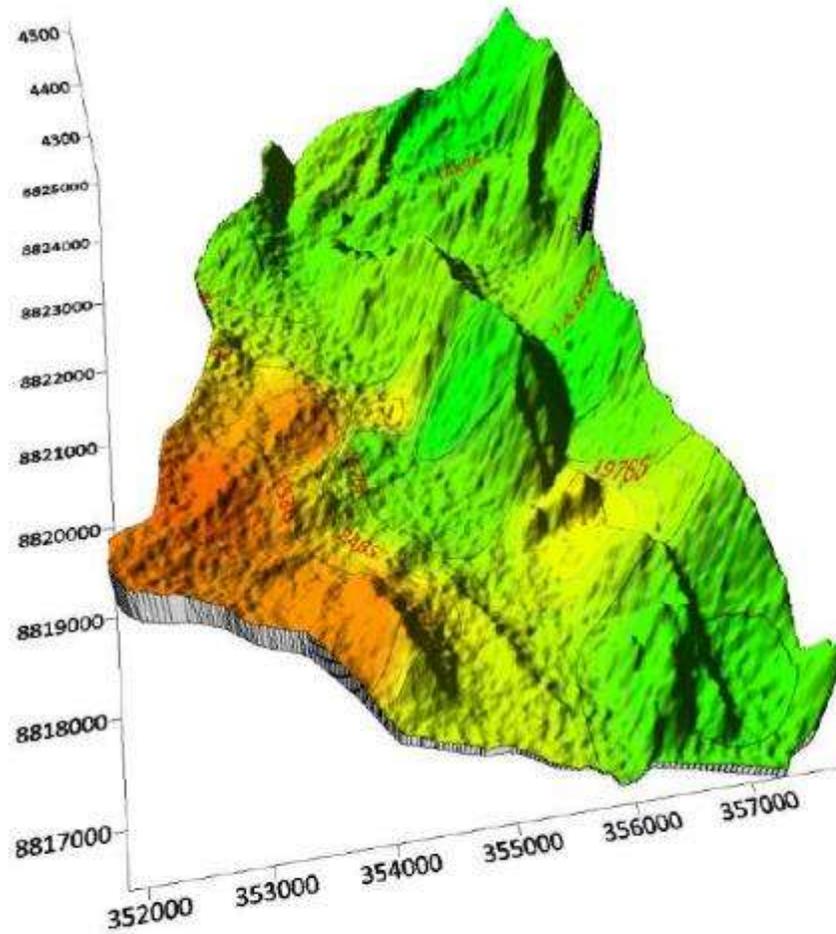
<b>Assuming Lognormal Distribution</b>			
95% H-UCL	19.98	90% Chebyshev (MVUE) UCL	21.1
95% Chebyshev (MVUE) UCL	23.82	97.5% Chebyshev (MVUE) UCL	27.6
99% Chebyshev (MVUE) UCL	35.02		
<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>			
<b>Data appear to follow a Discernible Distribution at 5% Significance Level</b>			
<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>			
95% CLT UCL	18.05	95% Jackknife UCL	18.21
95% Standard Bootstrap UCL	17.96	95% Bootstrap-t UCL	18.68
95% Hall's Bootstrap UCL	18.39	95% Percentile Bootstrap UCL	18.1
95% BCA Bootstrap UCL	18.33		
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	20.56	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	23.08
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	26.58	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	33.45
<b>Suggested UCL to Use</b>			
95% Adjusted Gamma UCL	19.09		
<p>Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.</p> <p>Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness.</p> <p>These recommendations are based upon the results of the simulation studies summarized in Singh, Maichle, and Lee (2006).</p> <p>However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.</p>			

# **ANEXO N.º 6**

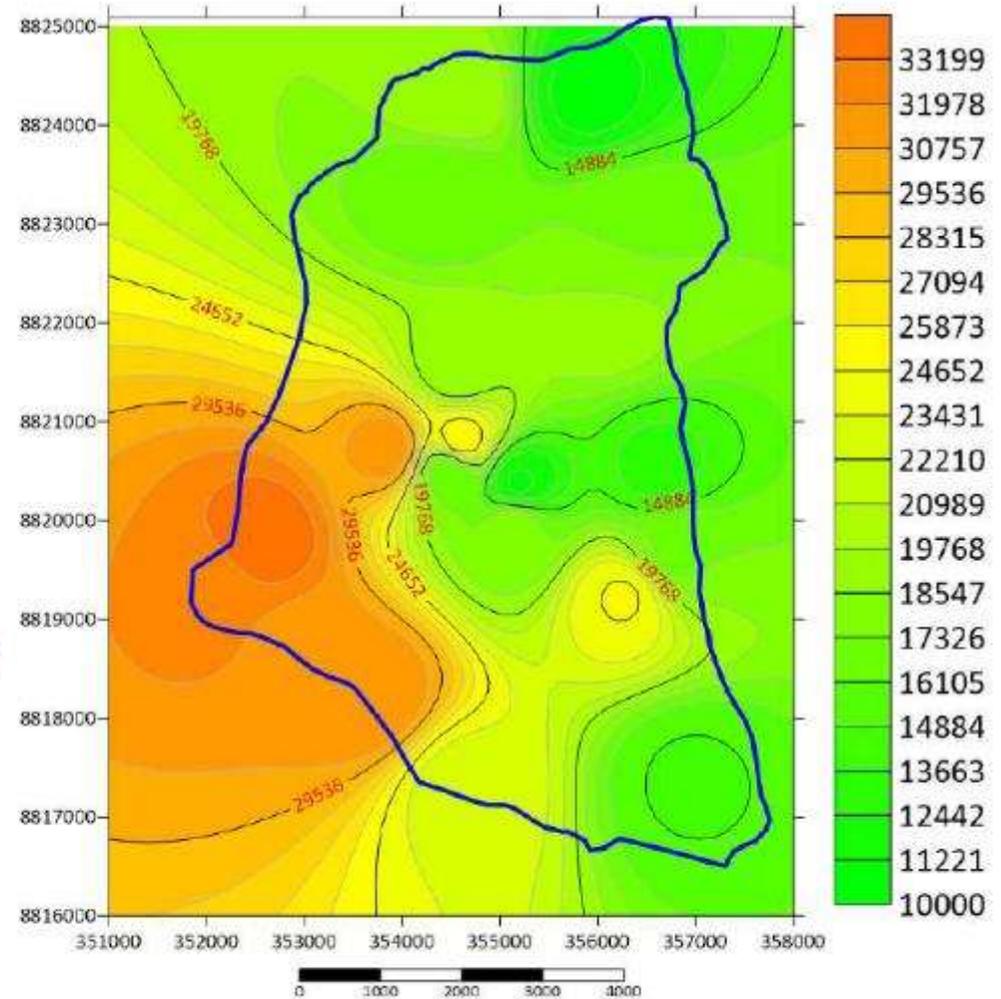
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS METALES PESADOS

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ALUMINIO TOTAL

Representación en 3D

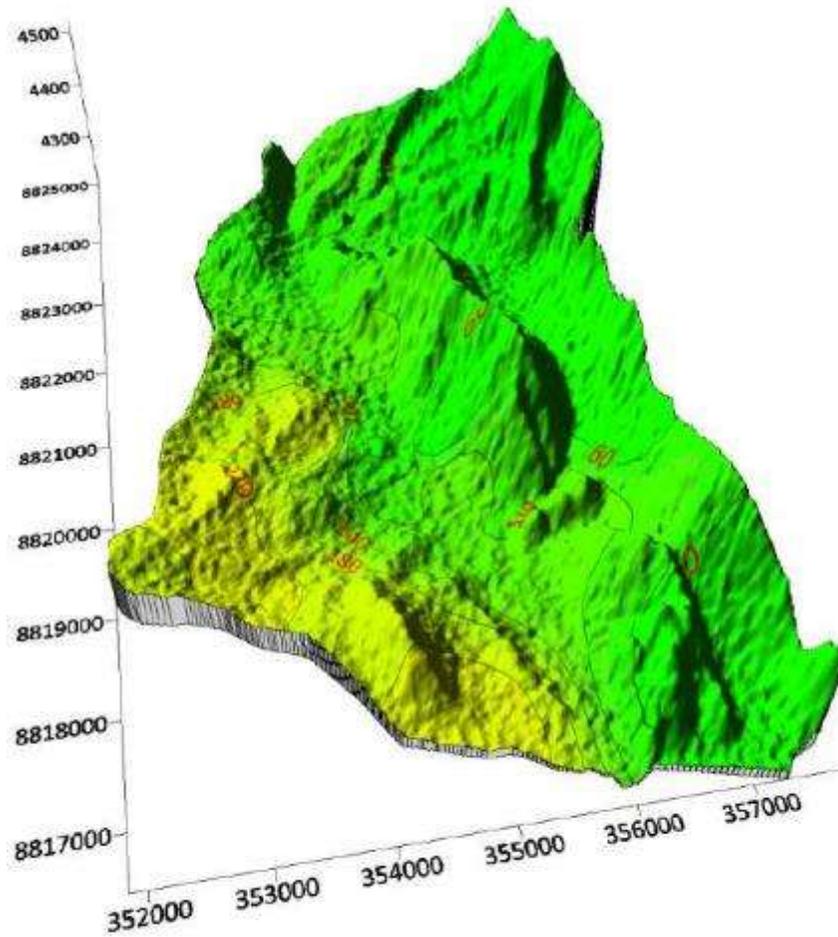


Isoconcentraciones de Aluminio Total

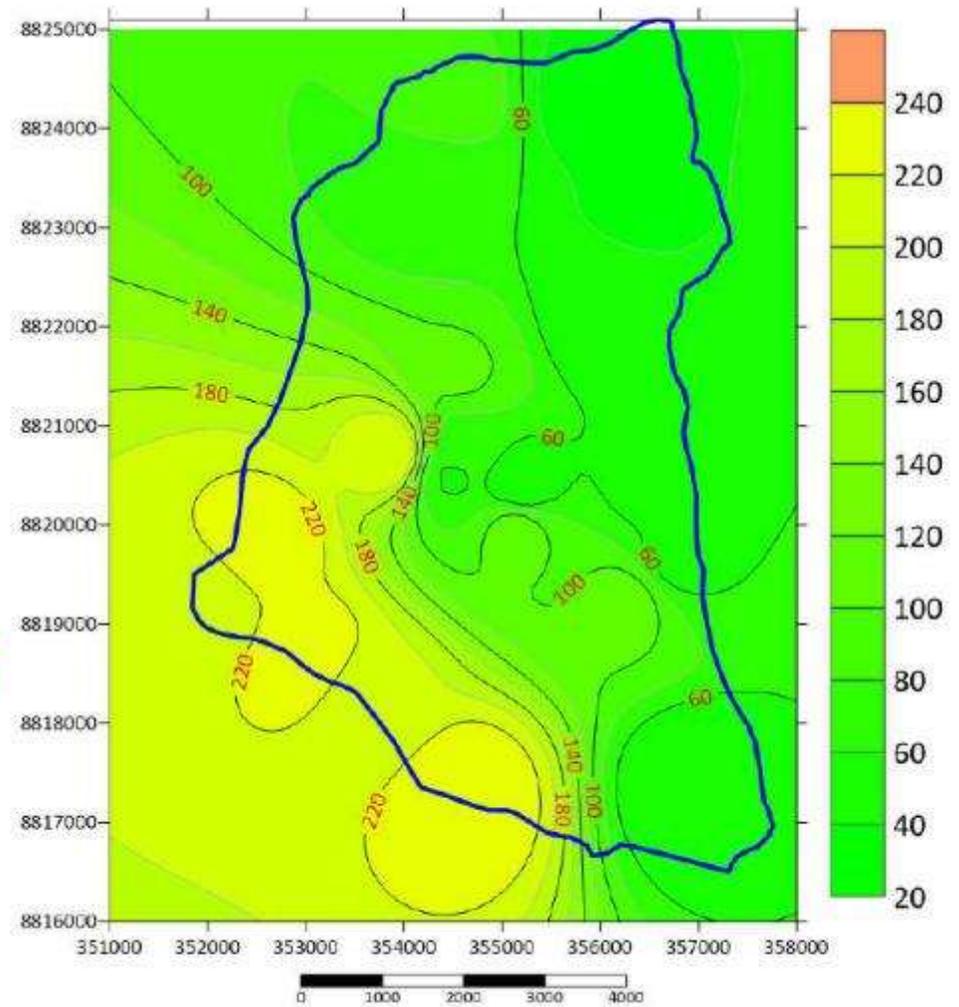


## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE BARIO TOTAL

Representación en 3D

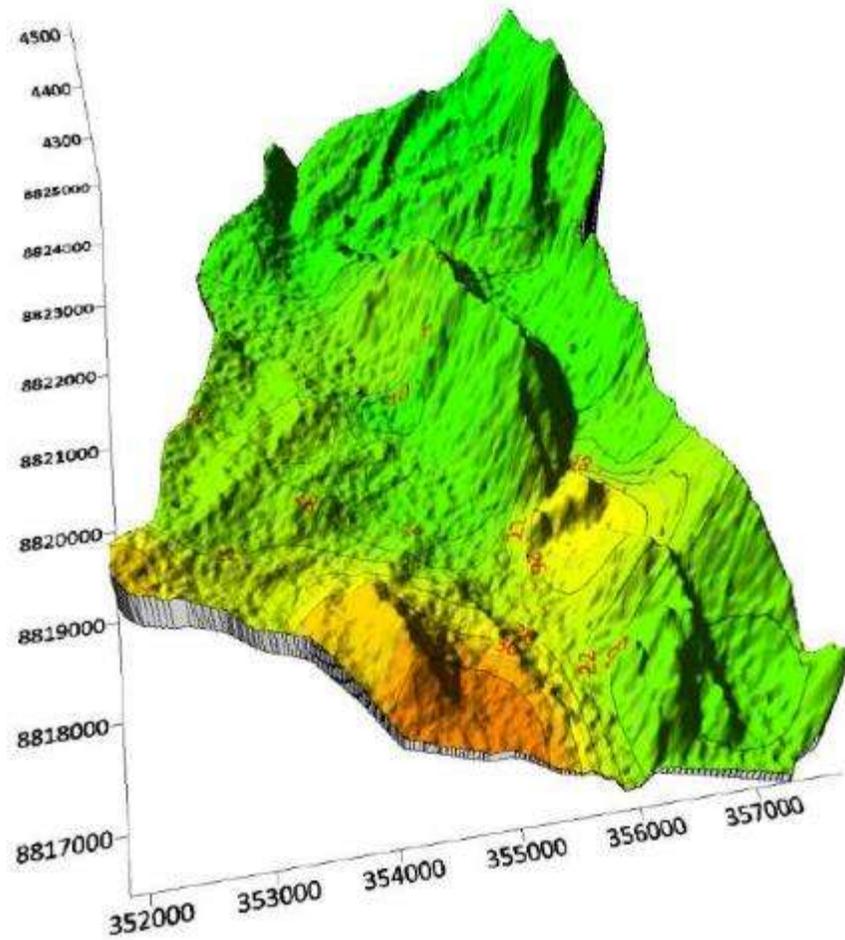


Isoconcentraciones de Bario Total

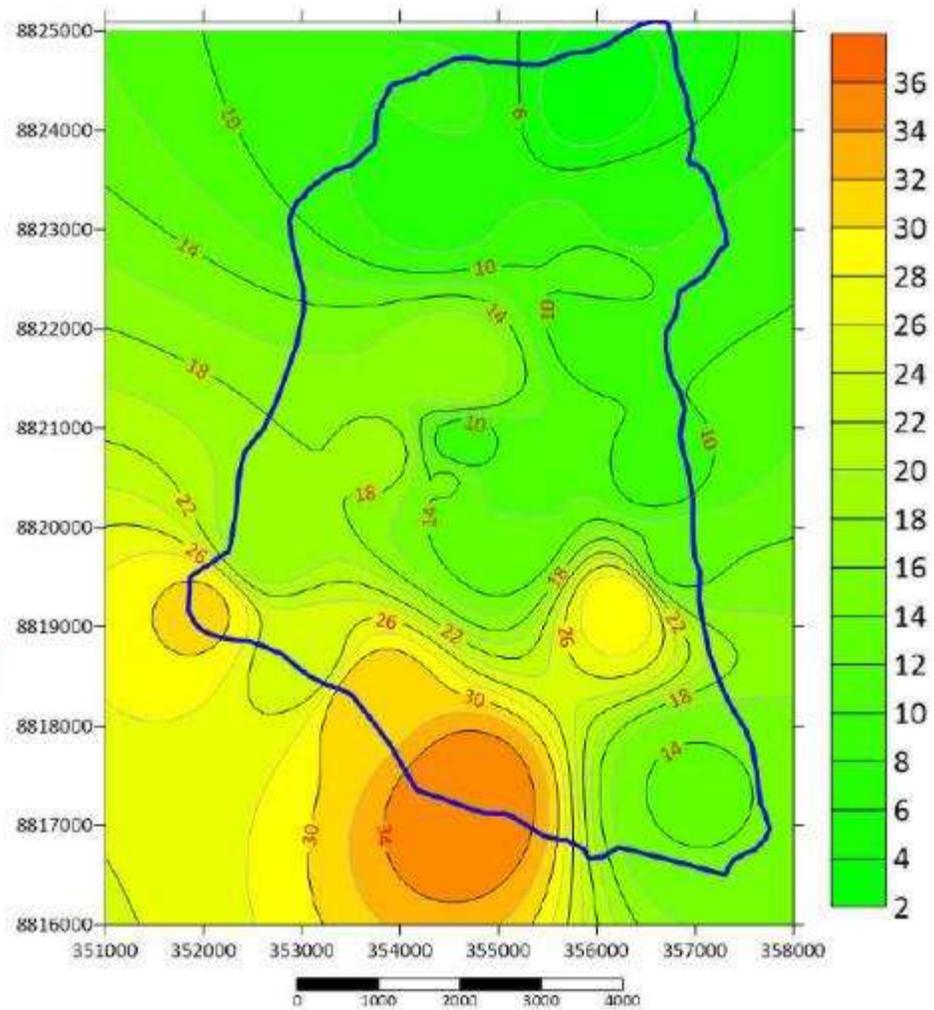


## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE COBRE TOTAL

Representación en 3D

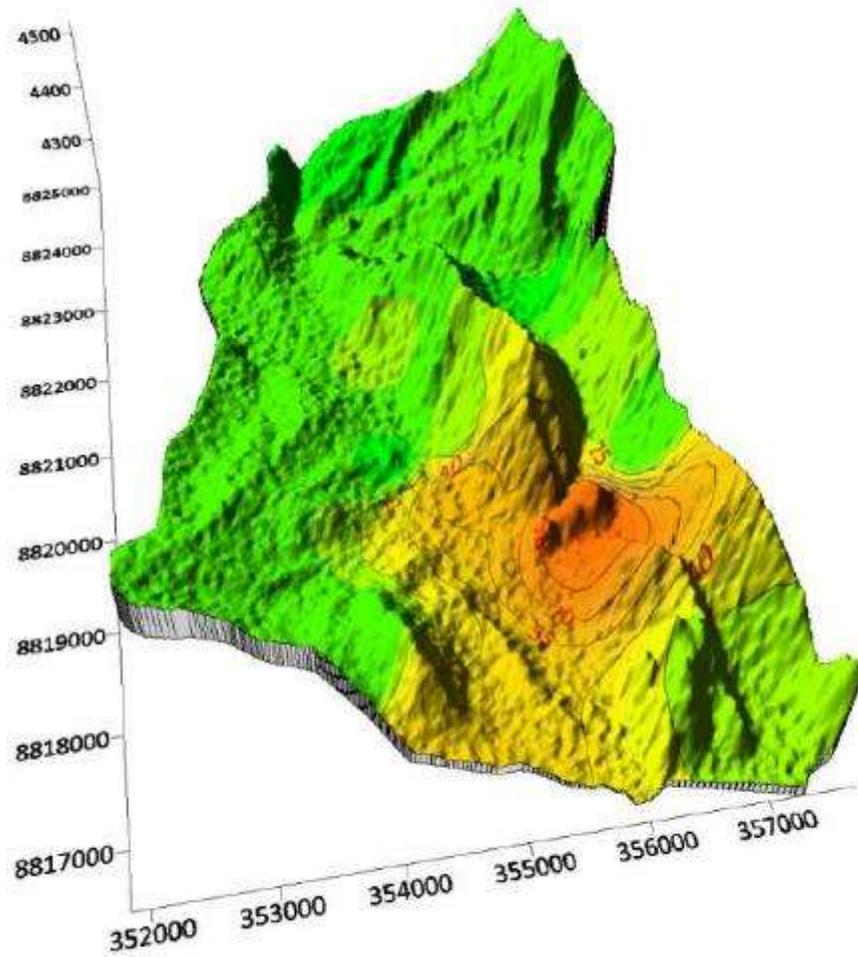


Isoconcentraciones de Cobre Total

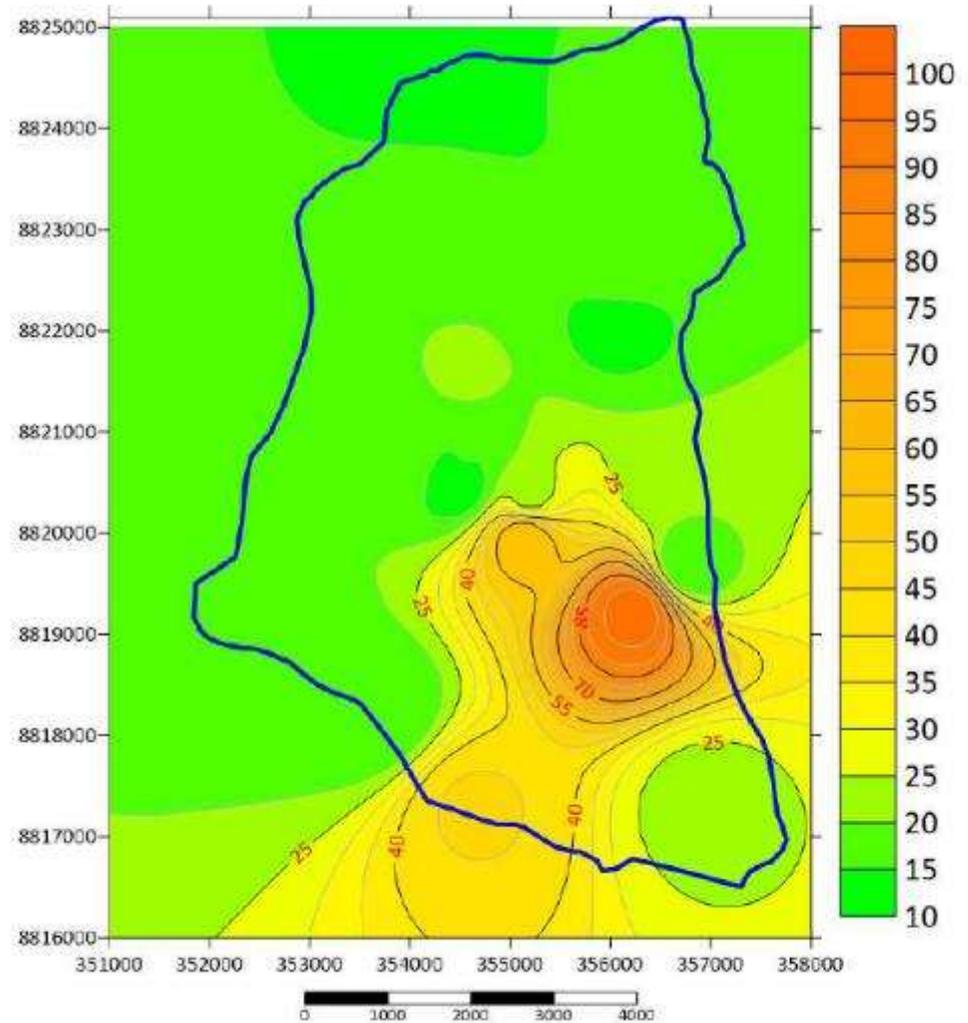


## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CROMO TOTAL

Representación en 3D

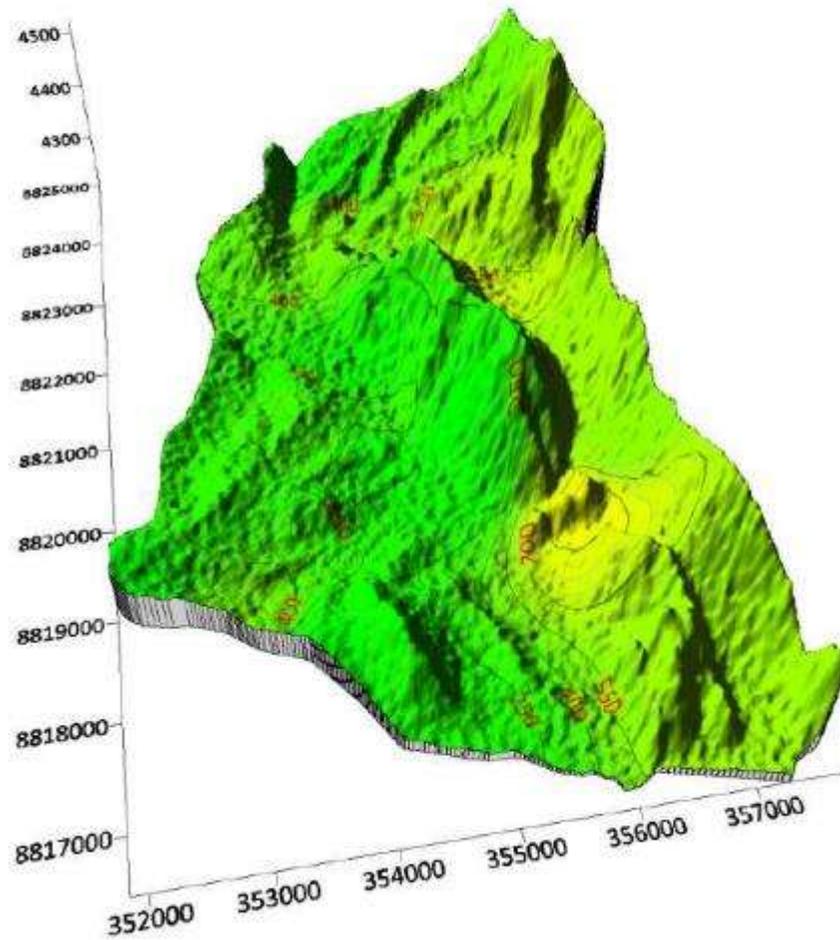


Isoconcentraciones de Cromo Total

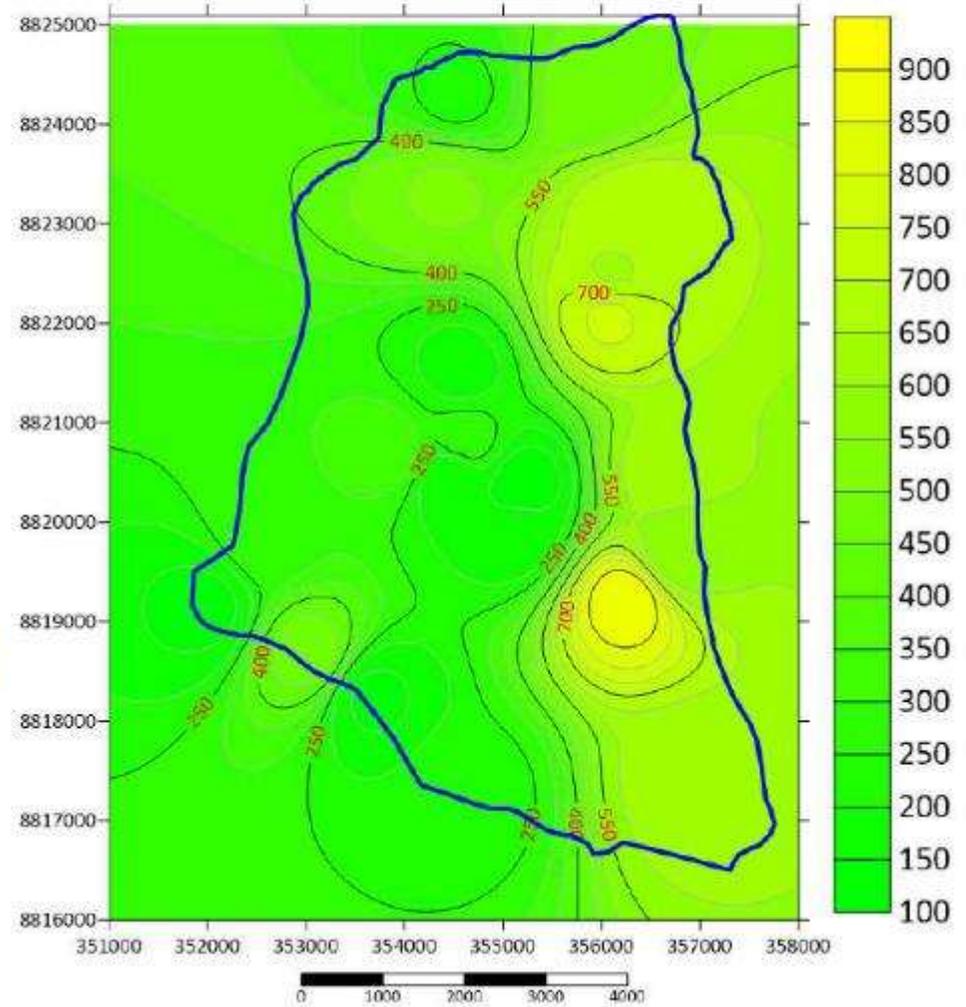


## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE MANGANESO TOTAL

Representación en 3D

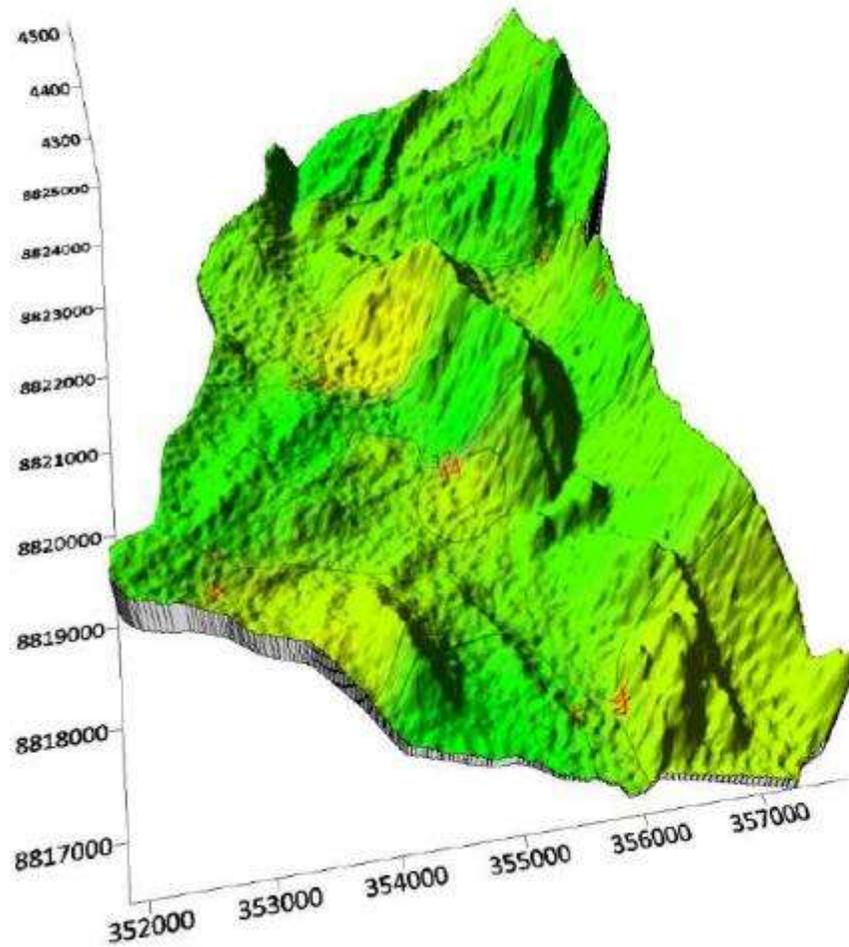


Isoconcentraciones de Manganeso Total

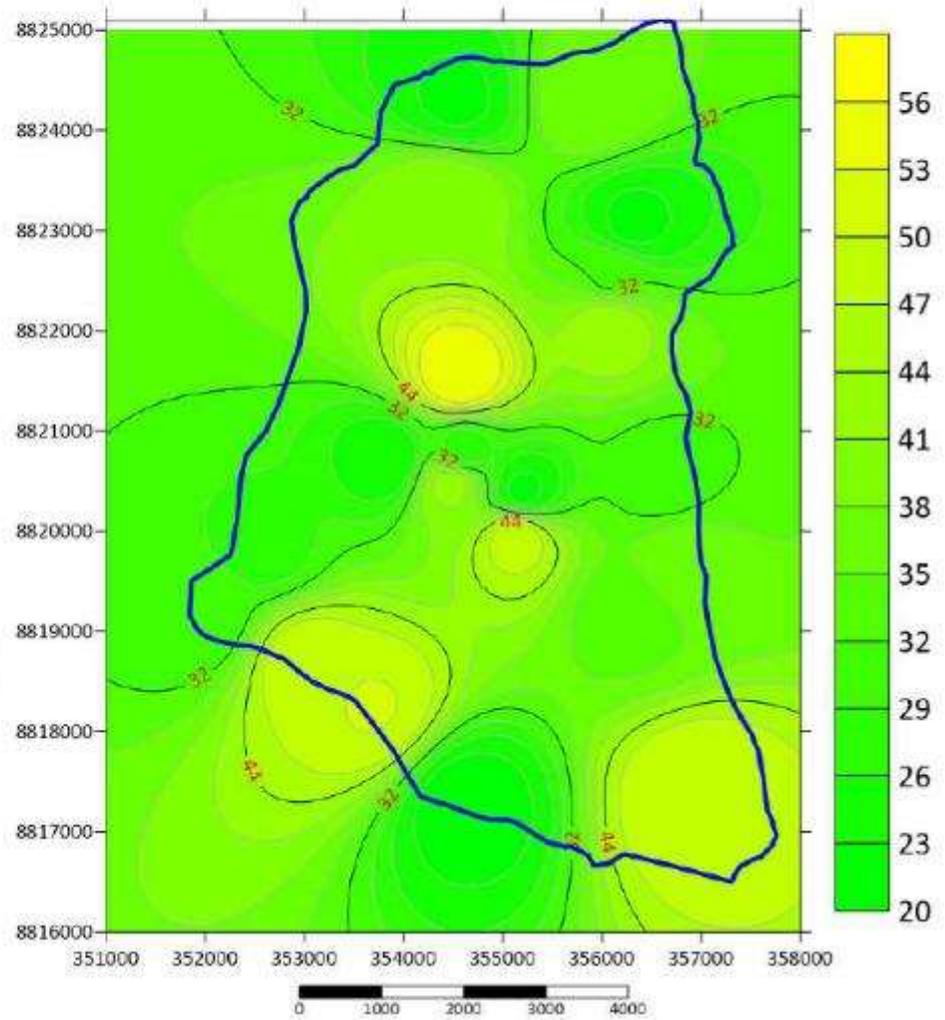


## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PLOMO TOTAL

Representación en 3D

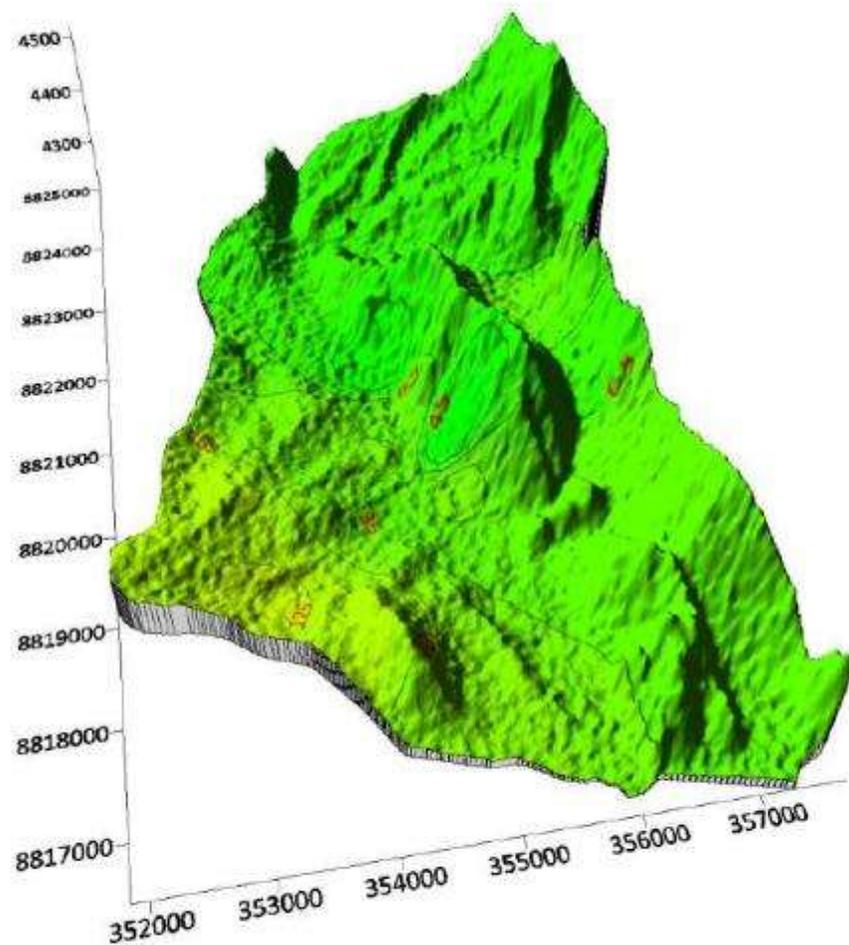


Isoconcentraciones de Plomo Total



## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ZINC TOTAL

Representación en 3D



Isoconcentraciones de Zinc Total

