

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**“NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE  
TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO,  
SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018”**

**PRESENTADO POR:**

- Br. Víctor Abraham Fernández Guzmán

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO GEÓLOGO**

**ASESOR:**

- Mg. Mauro Alberto Zegarra Carreón

**CUSCO- PERÚ**

**2023**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGUN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA - PERU, 2018

presentado por: VICTOR ABRAHAM FERNANDEZ GUZMAN

con Nro. de DNI: 71205666, para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de SETIEMBRE de 2023



Firma

Post firma MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREÓN

Nro. de DNI 23848124

ORCID del Asesor 0000-0003-0716-3980

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio. *oid: 27259:2616 17318*

NOMBRE DEL TRABAJO

**NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SU BC**

AUTOR

**Victor Abraham Fernandez Guzman**

RECUENTO DE PALABRAS

**39960 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**211048 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**123 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**69.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 8, 2023 12:35 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 8, 2023 12:37 PM GMT-5**

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## **DEDICATORIA**

Con gran emoción y gratitud, comparto este momento de mi vida; la culminación de mi tesis. Este logro tiene base en el constante apoyo, paciencia y el incondicional amor de mi querida familia.

En el desarrollo de la presente investigación, he descubierto los complejos desafíos asociados a los niveles de fondo de elementos traza, y como pueden llegar a afectar nuestro entorno. Al adentrarme en investigar y analizar los datos, pude entender la importancia de conocer y medir estos niveles de fondo para beneficio de implementar nuevas políticas, la salud y medio ambiente.

**Victor Abraham Fernández Guzmán**

“Jehová está contigo, varón  
esforzado y valiente”

Jueces 6::12

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su amor, infinita bondad y por ser  
fortaleza en mi vida.

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a la  
Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, por  
abrir caminos a un nuevo mundo de conocimientos,  
experiencias y amistades.

Mis sinceros agradecimientos a mi asesor Mg. Ing. Mauro  
Alberto Zegarra Carreón, por su orientación y apoyo en la  
elaboración de la presente tesis y por su amistad.

De igual manera agradecer a los docentes de la escuela  
profesional de Ingeniería Geológica que formaron parte  
de mi formación profesional.

De manera especial agradezco a mi familia, por su  
inagotable amor, infinita paciencia, tiempo compartido y  
el apoyo invaluable en cada momento de mi vida y en el  
proceso de la presente tesis.

**Victor Abraham Fernández Guzmán**

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	x
NOMENCLATURA Y PALABRAS CLAVE.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 UBICACIÓN.....	2
1.2.1 UBICACIÓN POLÍTICA.....	2
1.2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	2
1.2.3 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA.....	2
1.3 ACCESIBILIDAD.....	3
1.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS .....	5
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.5.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	5
1.5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.7 ANTECEDENTES.....	7
1.7.1 INTERNACIONALES:.....	7
1.7.2 NACIONALES.....	9
1.7.3 LOCALES:.....	11
1.8 HIPÓTESIS.....	12
1.9 VARIABLES.....	12
1.9.1 VARIABLE INDEPENDIENTE .....	12
1.9.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	12
1.9.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	13
1.10 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.11 MARCO METODOLÓGICO .....	16
1.11.1 TIPO DE ESTUDIO .....	16
1.11.2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	16
1.11.3 EVALUACIÓN DE SUELOS .....	16
1.11.4 TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	18
1.11.5 TÉCNICA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	20

CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 EL SUELO.....	22
2.2 ELEMENTOS TRAZA.....	22
2.3 NIVELES DE FONDO.....	23
2.3.1 CALCULO DE NIVELES DE FONDO.....	24
2.4 TOXICIDAD DE ELEMENTOS TRAZA.....	25
2.4.1 ARSÉNICO (As).....	25
2.4.2 CADMIO (Cd).....	25
2.4.3 COBRE (Cu).....	26
2.4.4 MERCURIO (Hg).....	26
2.4.5 NÍQUEL (Ni).....	27
2.4.6 PLOMO (Pb).....	27
2.4.7 ANTIMONIO (Sb).....	28
2.4.8 ESTAÑO (Sn).....	28
2.4.9 TALIO (TI).....	29
2.5 MARCO CONCEPTUAL.....	29
CAPITULO III	
MARCO ECOLÓGICO.....	31
3.1 ZONAS DE VIDA.....	31
CAPITULO IV	
MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO.....	35
4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	35
4.1.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	35
4.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	43
4.2.1 GENERALIDADES:.....	43
4.2.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	43
4.2.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	44
4.2.4 PAISAJE GEOMORFOLÓGICO Y RELIEVE MODELADO:.....	45
CAPITULO V	
CONTEXTO DE USO DEL SUELO.....	58
5.1 GENERALIDADES.....	58
5.2 TIPOS DE SUELOS.....	59
CAPITULO VI.....	66
RESULTADOS.....	66
6.1 CONTENIDO DE ELEMENTOS TRAZA.....	68
6.1.1 ARSÉNICO (As).....	72
6.1.2 CADMIO (Cd).....	73
6.1.3 COBRE (Cu).....	74
6.1.4 MERCURIO (Hg).....	75
6.1.5 NÍQUEL (Ni).....	75

6.1.6	PLOMO (Pb)	76
6.1.7	ANTIMONIO (Sb)	78
6.1.8	ESTAÑO (Sn)	79
6.1.9	TALIO (Tl)	79
CAPITULO VII		80
DISCUSIÓN		81
7.1	GENERALIDADES	81
7.2	ARSÉNICO (As)	81
7.3	CADMIO (Cd)	82
7.4	COBRE (Cu)	83
7.5	MERCURIO (Hg)	84
7.6	NÍQUEL (Ni)	85
7.7	PLOMO (Pb)	86
7.8	ANTIMONIO (Sb)	87
7.9	ESTAÑO (Sn)	88
7.10	TALIO (Tl)	90
CAPITULO VIII		91
CONCLUSIONES		91
CAPITULO IX		93
RECOMENDACIONES		93
BIBLIOGRAFÍA		94
ANEXOS		100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas de Ubicación espacial.....	2
Tabla 1.2. Ubicación Hidrográfica.....	2
Tabla 1.3. Operacionalización de variables.....	13
Tabla 5.1. Extensión que cubre cada tipo de suelo en hectáreas y su equivalente en porcentaje.....	59
Tabla 6.1. Conteo de puntos de muestreo según el Uso del Suelo.....	67
Tabla 6.2. Conteo de muestras según el nivel de profundidad.....	67
Tabla 6.3. Conteo de muestras según el nivel de profundidad y el Uso de suelo.....	67
Tabla 6.4. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Agrícola y en el nivel de Horizonte Superficial.....	68
Tabla 6.5. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Agrícola y en el nivel de Horizonte Profundo.....	68
Tabla 6.6. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Residencial y en el nivel de Horizonte Superficial.....	69
Tabla 6.7. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Residencial y en el nivel de Horizonte Profundo.....	69
Tabla 6.8. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Industrial y en el nivel de Horizonte Superficial.....	70
Tabla 6.9. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Industrial y en el nivel de Horizonte Profundo.....	70
Tabla 6.10. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos capacidad de uso Sin Uso y en el nivel de Horizonte Superficial.....	70
Tabla 6.11. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos capacidad de uso Sin Uso y en el nivel de Horizonte Profundo.....	71
Tabla 6.12. Prueba de normalidad de datos, según el uso de suelo en muestras tomadas en el horizonte superficial. En cuadros verdes se observa los datos que muestras una normalidad en su distribución ( $p\text{-value}>0.05$ ).....	71
Tabla 6.13. Prueba de normalidad de datos, según el uso de suelo en muestras tomadas en el horizonte profundo. En cuadros verdes se observa los datos que muestras una normalidad en su distribución ( $p\text{-value}>0.05$ ).....	71
Tabla 6.14. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Arsénico (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”... ..	72
Tabla 6.15. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Arsénico (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.....	72
Tabla 6.16. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cadmio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”... ..	73
Tabla 6.17. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cadmio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.....	73
Tabla 6.18. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cobre (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”... ..	74
Tabla 6.19. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cobre (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.....	74
Tabla 6.20. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Mercurio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”... ..	75
Tabla 6.21. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Mercurio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.....	75
Tabla 6.22. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Níquel (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”... ..	76

Tabla 6.23. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Níquel (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. .....	76
Tabla 6.24. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Plomo (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. ..	77
Tabla 6.25. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Plomo (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. .....	77
Tabla 6.26. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Antimonio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso” .....	78
Tabla 6.27. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Antimonio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. .	78
Tabla 6.28. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Estaño (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. ..	79
Tabla 6.29. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Estaño (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. .....	79
Tabla 6.30. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Talio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. ..	80
Tabla 6.31. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Talio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”. .....	80
Tabla 7.1. Concentraciones de valores de nivel de fondo en suelos de Canadá y suelos de Perú (ECA de suelos MINAM,2017 y OEFA,2017) .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio: se observa el área de estudio sobre un modelo hillshade y los límites provinciales, los valores en color negro de la grilla del sistema de referencia corresponden a la proyección UTM zona 19K (EPSG:32719), y en color lila corresponde al sistema de referencia WGS 84 (EPSG:4326). .....	3
Figura 1.2. Mapa de Accesibilidad al área de estudio, en la parte superior se observa el Aeropuerto de Arequipa Alfredo Rodríguez Ballón, y vías de acceso al área de estudio. ....	4
Figura 3.1. Zonas de Vida, en la figura observamos la distribución y la extensión de las Zonas de vida sobre el área de estudio.....	31
Figura 4.1. Columna estratigráfica del área de estudio, modificado de INGEMMET 1963-1968-1978.....	42
Figura 4.2. Geomorfología Regional (modificado de INGEMMET 2020).....	43
Figura 4.3. Unidades de Paisaje Geomorfológico del área de estudio.....	45
Foto 4.3. Afloramiento de Óxidos y arcillas.....	48
Figura 5.1 Mapa de uso del suelo presentes en el área de estudio. ....	58
Figura 5.2 Mapa 3D de suelos presentes en el área de estudio con rotación N43E, en la parte inferior derecha se observa un mapa de elevación.....	59
Figura 6.1. Mapa de localización de puntos de muestreo.....	66
Figura 7.1 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Arsénico (As), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	82
Figura 7.2 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Cadmio (Cd), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	83
.....	83
Figura 7.3 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Cobre (Cu), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	84
Figura 7.4 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Mercurio (Hg), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	85
Figura 7.5 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Níquel (Ni), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	86
Figura 7.6 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Plomo (Pb), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	87
.....	87
Figura 7.7 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Antimonio (Sb), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). .....	88
Figura 7.8 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Estaño (Sn), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y	

los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). ..... 89

Figura 7.9 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Talio (Tl), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017). ..... 90

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Foto 4.1. Afloramiento de óxidos y arcillas al noroeste del cerro Los Cerrillos.....	46
Foto 4.2. Afloramiento de Granito lado Norte del Cerro Huánuco.....	46
Foto 4.4. Depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas en el Valle del Tambo, .....	57
en las inmediaciones del centro poblado La Pascana. ....	57
Foto 5.1. Perfil de suelo Solonchak, suelo arenoso, con mucha presencia de fragmentos (grava fina a gruesa) y presencia de sales. ....	60
Foto 5.2. Perfil de suelo Regosol, suelo franco limosos con presencia de fragmentos (grava gruesa), con permeabilidad rápida y drenaje bueno. ....	61
Foto 5.3. Perfil de suelo Leptosol, suelo franco limosos con presencia abundante de fragmentos (grava gruesa), con permeabilidad rápida y drenaje bueno. ....	61
Foto 5.4. Perfil de suelo Cambisol, el presente perfil muestra horizontes franco arenosos a franco arcillosos, con drenaje y permeabilidad moderada. ....	62
Foto 5.5. Perfil de suelo Umbrisol, el presente perfil muestra horizontes francos arcillo arenosos a franco arcillosos, con drenaje bueno, permeabilidad moderada y presencia de materia orgánica en la capa superficial. ....	63
Foto 5.6. Perfil de suelo Fluvisol, próximo al río Tambo, el primer nivel de 0 a 40 cm muestra un horizonte arenoso de color gris pardo, desarrollo de raíces, permeabilidad baja y en contacto irregular con respecto al horizonte inferior arenoso con presencia de fragmentos (grava).....	63
Foto 5.7. Perfil de suelo Stagnosol, el presente perfil muestra horizontes arcillosos arenosos, con coloraciones pardas, con drenaje moderado, permeabilidad moderada, presencia de raíces y presencia de napa freática a los 85 cm.....	64
Foto 5.8. Perfil de suelo Kastanozem, el presente perfil muestra horizontes franco arcillosos arenosos, con drenaje bueno y permeabilidad lenta.....	65
Foto 5.9. Perfil de suelo Arenosol, el presente perfil muestra horizontes arenosos, con coloraciones grises, drenaje excesivo y permeabilidad muy rápida.....	65

## NOMENCLATURA Y PALABRAS CLAVE

### ABREVIACIÓN

ANA	Autoridad Nacional del Agua.
ECA	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelos, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
ICP-AES	Espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción.
ICP-MS	Espectrometría de masas de plasma acoplado por inducción.
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
ppm	Partes por millón, representado también por <b>mg/kg</b> o <b>mg kg<sup>-1</sup></b>
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
UTM	Universal Transversal de Mercator.
As	Arsénico.
Cd	Cadmio.
Cu	Cobre.
Hg	Mercurio.
Ni	Níquel.
Pb	Plomo.
Sb	Antimonio.
Sn	Estaño
Tl	Talio
Ma	Millones de años.
mg/día	Miligramos al día
ug/día	Microgramos al día.
cm	Centímetros.
mm	Milímetros.
°C	Grados Centígrados.

## RESUMEN

“NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018”

Victor Abraham Fernández Guzmán

El Perú posee una basta riqueza en recursos naturales; el recurso natural del suelo es uno de los menos explorados y analizados, es un recurso natural vulnerable, de difícil recuperación y de extensión limitada, su mala gestión puede llegar a generar conflictos sociales, ambientales y de la salud por parte de la población.

La presente investigación busca determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo de nueve elementos traza en el área que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga – Arequipa. Las concentraciones altas o muy bajas de los elementos traza generan escenarios de riesgo para la salud de las personas, llegando incluso a ser tóxicos para la vida, es el caso del arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), estaño (Sn) y talio (Tl).

El tipo de investigación es un estudio observacional de tipo transversal analítico, por medio de un muestreo probabilístico de tipo estratificado para la recolección de 345 muestras de suelos y adicionalmente la recolección de información de campo, para la determinación de niveles de fondo de suelos con uso agrícola, residencial e industrial, elaboración de mapas y base de datos para el presente estudio.

En cuanto a los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en los suelos de la zona de estudio se determinó que en los suelos Agrícolas los elementos traza Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Antimonio, Estaño y Talio fueron más altos en las muestras superficiales con respecto a las muestras tomadas en profundidad, En comparación a lo establecido en el ECA de suelos del Perú, el Arsénico, presente en suelos agrícolas superficiales supera en 4 unidades ppm. Lo que podría influenciar negativamente sobre los residentes de la zona. En los suelos Residenciales los niveles de fondo determinados de los elementos traza Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Antimonio y Talio fueron más altos en las muestras superficiales con respecto a las muestras tomadas en profundidad, Los niveles de fondo determinados no superaron a los valores establecidos en el ECA de suelos del Perú. En los suelos Industriales los niveles de fondo determinados de los elementos traza Arsénico, Níquel, Antimonio y Talio fueron más altos en las muestras profundas con respecto a las muestras tomadas en superficie, Los niveles de fondo determinados no superaron a los valores establecidos en el ECA de suelos del Perú.

**Palabras clave:** nivel de fondo, elemento traza, ECA de suelos del Perú, ppm.

## ABSTRACT

“BACKGROUND LEVELS OF POTENTIALLY TOXIC TRACE ELEMENTS FOR HEALTH ACCORDING TO SOIL USE, BAJO TAMBO AND LINGA SUB-BASINS, AREQUIPA-PERU, 2018”

Victor Abraham Fernández Guzmán

Peru possesses a vast wealth in natural resources; The natural resource of the soil is one of the least explored and analyzed, it is a vulnerable natural resource, difficult to recover and of limited extension, its mismanagement can generate social, environmental and health conflicts on the part of the population.

The present investigation seeks to determine the background levels of potentially toxic trace elements for health according to the use of nine trace elements in the area that covers the Bajo Tambo and Linga - Arequipa sub-basins. High or very low concentrations of trace elements generate risk scenarios for people's health, even becoming toxic to life, in the case of arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), antimony (Sb), tin (Sn) and thallium (Tl).

The type of research is an observational study of analytical cross-sectional type, through a stratified probabilistic sampling for the collection of 345 soil samples and additionally the collection of field information, for the determination of background levels of soils with agricultural, residential and industrial, mapping and database for the present study.

Regarding the background levels of potentially toxic trace elements for health in the soils of the study area, it was determined that in Agricultural soils, the trace elements Arsenic, Cadmium, Mercury, Lead, Antimony, Tin, and Thallium were higher in surface samples compared to samples taken at depth. In comparison to the established ECA in Peru, Arsenic exceeded the limit by 4 ppm in surface agricultural soils, which could have a negative impact on the residents of the area. In Residential soils, the determined background levels of trace elements Arsenic, Cadmium, Copper, Mercury, Nickel, Lead, Antimony, and Thallium were higher in surface samples compared to samples taken at depth. The determined background levels did not exceed the values established in the ECA in Peru. In Industrial soils, the determined background levels of trace elements Arsenic, Nickel, Antimony, and Thallium were higher in deep samples compared to surface samples. The determined background levels did not exceed the values established in the ECA in Peru.

**Keywords:** background level, trace element, ECA of soils of Peru, ppm.



## CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El Perú posee una basta riqueza en recurso naturales, sin embargo, el recurso suelo es uno de los menos explorados y analizados sobre todo en áreas industriales como las minerías (Díaz, 2016). La mala gestión de dicho recurso por parte del estado y de las empresas privadas como las mineras, así como la falta de estudios previos en los suelos, trae como consecuencia conflictos sociales, ambientales y de salud por parte de la población (Ugarte, 2018).

El recurso natural suelo es vulnerable, de difícil recuperación y de extensión limitada, es un recurso natural no renovable (Silva & Correa, 2009). Los estudios de calidad de suelos, normalmente se centran en conocer las concentraciones de elementos traza para determinar zonas contaminadas y los potenciales efectos adversos para la vida (Romero et. al. 2014), siendo importantes para un control de la actividad antrópica (minería, agricultura, ganadería, etc.), debido a que monitoriza los cambios en las concentraciones de elementos trazas a lo largo del tiempo.

Las concentraciones de elementos traza de los suelos son de vital importancia para preservar los ecosistemas incluyendo la de los humanos. Los elementos traza son esenciales (unos pocos mg o  $\mu\text{g}/\text{día}$ ), para mantener correctamente la homeostasis de los seres humanos. Sin embargo, cuando se presentan en altas o muy bajas concentraciones producto de los diferentes procesos antropogénicos o geogénicos generan escenarios de riesgos para la salud de las personas (Baeuml, y otros, 2011). Siendo, incluso tóxicos para la vida al superar ciertos umbrales de concentración en los suelos, este es el caso del arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), estaño (Sn) y talio (Tl) (Galán & Romero, 2008).

Por lo que, la presente investigación tiene como objetivo principal determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, en el área que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga, Arequipa. Los resultados esperados pueden ser la base fundamental de la formulación de nuevas políticas medioambientales, estudios de línea base medioambiental y para evaluar otros parámetros a nivel local, regional e incluso nacional, dado que la contaminación por parte de las minerías involucra principalmente a los recursos de agua y suelo.



## 1.2 UBICACIÓN

### 1.2.1 UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente el área de estudio abarca las superficies de las subcuencas Bajo Tambo y Linga, el área de estudio se ubica en la zona sur occidental del territorio peruano, en el departamento de Arequipa, en las provincias de Islay y Arequipa, entre los distritos de La Joya, Yarabamba, Cocachacra, Mollendo, Dean Valdivia y Punta de Bombón.

El área de estudio abarca parte de los cuadrángulos La Joya 34S, Puquina 34T y Punta de Bombón 35S de la Carta Geológica Nacional, con una extensión de 1169.15 Km<sup>2</sup> (Figura 1.1 y Anexo 6).

### 1.2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente el área de estudio se ubica en la parte baja de la Cuenca del río Tambo (ver Figura 1.1). Se registran los datos de ubicación del área de estudio en el sistema de referencia WGS 84 (EPSG:4326) y en el sistema de referencia WGS84 con proyección UTM zona 19K (EPSG:32719), hemisferio sur, en el siguiente cuadro:

Tabla 1.1. Coordenadas de Ubicación espacial

COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO			
COORDENADA GEOGRÁFICA		COORDENADA UTM	
LONGITUD	71°28'55"W - 71°51'36"W	ESTE	195757 - 253142
LATITUD	16°33'42"S - 17°10'34"S	NORTE	8098711 - 8167313

### 1.2.3 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

El área de estudio que abarcan las subcuencas Bajo Tambo y Linga según la clasificación de PFAFSTETTER son unidades hidrográficas de nivel 5, ubicándose de la siguiente manera:

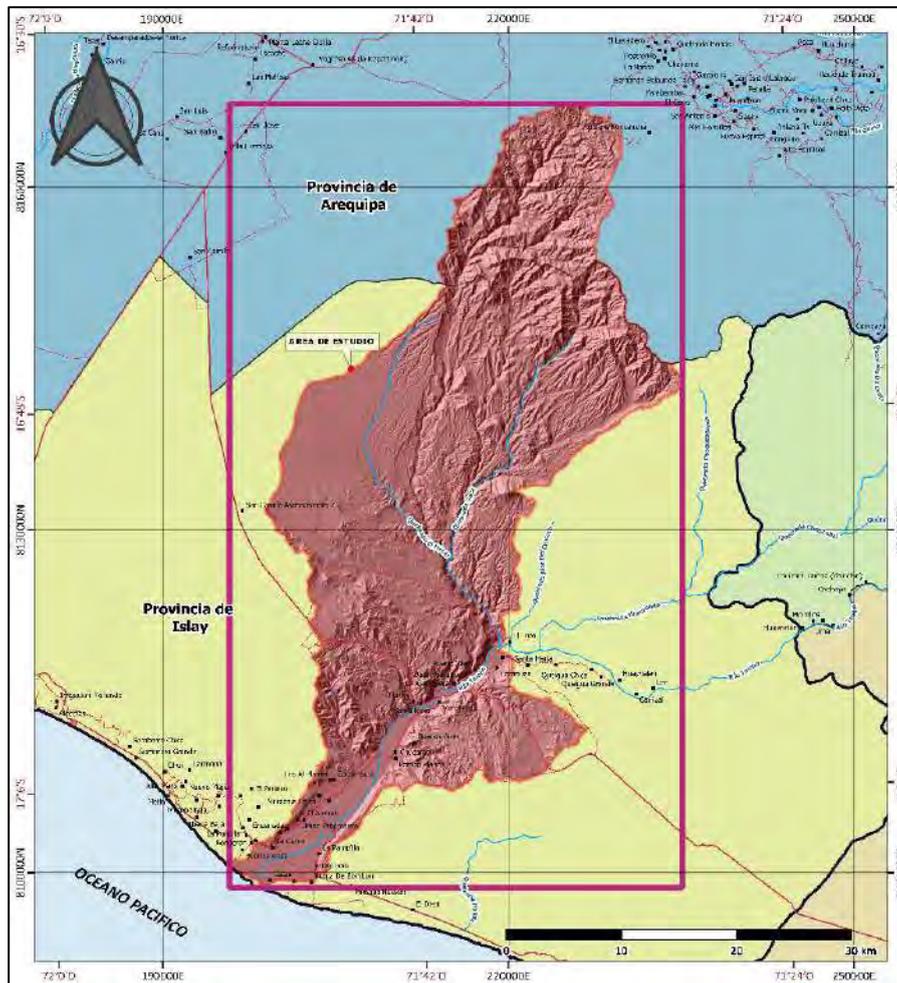
Tabla 1.2. Ubicación Hidrográfica

NIVEL	CÓDIGO PFAFSTETTER	UNIDAD HIDROGRÁFICA
1	1	Región hidrográfica del Pacífico
2	13	Unidad hidrográfica 13
3	131	Unidad hidrográfica 131
4	1318	Cuenca Tambo
5	13181 13182	Subcuenca Bajo Tambo Subcuenca Linga

Fuente: Elaboración Propia



Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio: se observa el área de estudio sobre un modelo hillshade y los límites provinciales, los valores en color negro de la grilla del sistema de referencia corresponden a la proyección UTM zona 19K (EPSG:32719), y en color lila corresponde al sistema de referencia WGS 84 (EPSG:4326).



Fuente: Modificado de INGEMMET

### 1.3 ACCESIBILIDAD

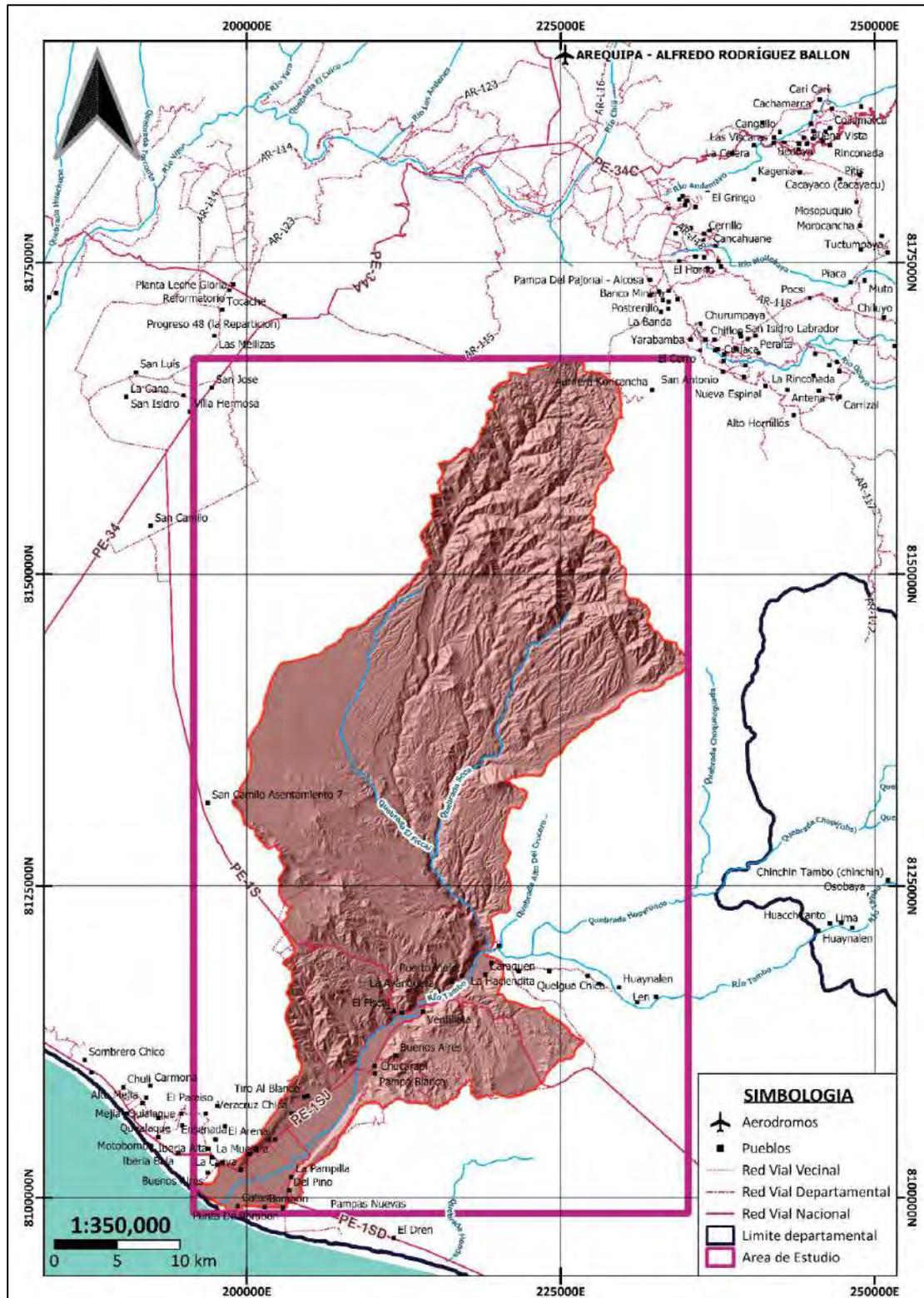
El acceso al área de estudio inicia en la ciudad de Lima a través de la carretera Panamericana Sur, se accede a la zona costera del área de estudio de forma directa por la vía nacional PE-S1D (Chincha Alta - Ica - Nazca - Dv. Camaná - Quilca - Huata – Islay - Mollendo (Vía de Evitamiento) - Pte. Freyre - Punta de Bombón), llegando así a la parte baja del área de estudio, de allí podemos tomar la ruta de trayecto PE-1SJ (Ventillata - Dv. Buenos Aires) para conectar la parte media del área de trabajo.

Vía vuelo aéreo comercial Lima – Arequipa (del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez al Aeropuerto Rodríguez Ballón), se accede del aeropuerto Rodríguez Ballón por la vía nacional PE-34A (Uchumayo), PE-34C (Miguel Forga – Andrés Avelino Cáceres Paseo de la cultura – Guardia Civil – Jhon F. Kenedy – Colonial) de allí se accede por la vía departamental AR-117 (Socabaya – Yarabamba) y se desvía por la



trocha de vía vecinal AR-794 y la vía Cerro Verde accediendo a la zona norte del área de trabajo (ver Figura 1.2 y Anexo 7).

Figura 1.2. Mapa de Accesibilidad al área de estudio, en la parte superior se observa el Aeropuerto de Arequipa Alfredo Rodríguez Ballón, y vías de acceso al área de estudio.



Fuente: Modificado de INGENMET



## **1.4 CONDICIONES CLIMÁTICAS**

De acuerdo con la clasificación climática de SENAMHI (2020), la región de estudio muestra un clima Árido/Desértico templado con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año (Clima E (d) B').

El área de estudio muestra biotemperaturas promedio máximas que varían entre 12 a 22.2 °C y biotemperaturas mínimas que varían entre 10.6 a 19.8°C. La precipitación promedio máxima oscila entre 44 a 250 mm y la mínima oscila entre 2.2 a 120.4 mm.

## **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.5.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Los niveles de fondo de elementos traza son una base fundamental para la legislación ambiental del recurso suelo, y representan una herramienta vital en el proceso de evaluación de suelos contaminados. Las altas o bajas concentraciones de los elementos traza en los suelos representan un potencial problema para la salud, afectan a la biodiversidad y al medio ambiente; y repercuten en las actividades socioeconómicas de una determinada región (Jiménez, Conde, Martín, & García, 2010).

Loayza (2015) afirma que, en Perú, se tienen casos de impacto ambiental crónico por parte de actividades extractivas como la minería, contaminando suelo, agua, aire, flora, fauna y paisajes. Por lo que, la actividad minera debe ser monitorizada bajo estudios de niveles de fondo de suelos y otros parámetros ambientales, y así controlar los niveles de contaminación alrededor de las zonas mineras. Se sabe que la concentración de niveles de fondo varía en extensión y profundidad en las diferentes áreas (Reimann & Garrett, 2005).

En los alrededores de la zona de estudio (provincia de Islay, departamento de Arequipa) solo se cuenta con un estudio de niveles de fondo ejecutado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2017). En dicho estudio se evaluó los niveles de fondo de elementos traza en un número limitado de muestras de suelos dentro de las áreas aledañas al proyecto Tía María (Arequipa).

Por lo expuesto líneas arriba, la salud de las personas y de los ecosistemas de las zonas aledañas a las minerías dependen de la adecuada gestión del recurso suelo, siendo necesario la monitorización de las concentraciones de elementos traza potencialmente tóxicos. Por lo que, como punto de partida la presente investigación pretende determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos



para la salud humana, considerando la profundidad de las muestras, así como la influencia de la actividad antrópica.

## **1.5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.5.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuáles son los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, en el área de las subcuencas Bajo Tambo y Linga, región de Arequipa?

#### **1.1.1.1 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuáles son los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso agrícola?
- ¿Cuáles son los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso industrial?
- ¿Cuáles son los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso residencial?

## **1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo de nueve elementos traza en el área que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga – Arequipa.

#### **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso agrícola.
- Calcular los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso industrial.
- Calcular los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso residencial



## 1.7 ANTECEDENTES

### 1.7.1 INTERNACIONALES:

- **Da Silva E., Gao P., Xu M., Guan D., Tang X., Ma L. (Florida, USA, 2020)**, en su estudio titulado “Concentraciones de fondo de metales traza As, Ba, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Se y Zn en 214 suelos urbanos de Florida: diferentes ciudades y usos del suelo”, cuyos objetivos fueron determinar las concentraciones de fondo en suelos de áreas urbanas de dos grandes ciudades y cuatro ciudades pequeñas de Florida, para una mejor evaluación del riesgo de contaminación; comparar las concentraciones de fondo con los niveles objetivos de limpieza de Florida; y determinar cuál es la distribución espacial y la variabilidad en suelos urbanos haciendo uso del análisis estadístico multivariado.

El estudio fue de tipo transversal, donde se determinó la concentración de fondo para nueve elementos traza (As, Ba, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Se y Zn) en 214 muestras de suelos urbanos superficiales (0-15cm) en Florida, el análisis estadístico para determinar la concentración de fondo de elementos traza en suelos urbanos se hizo mediante el cálculo de la media geométrica (MG), la media aritmética (MA) y del percentil 95 (95%). Concluyeron que las concentraciones de Arsénico y Plomo excedieron los niveles objetivos de limpieza de suelos para Florida; en suelos de las ciudades del condado de Clay y Orlando las concentraciones de Cd, Co y As fueron las más bajas y las concentraciones de Ba, Pb y Zn fueron las más altas.

Este estudio aporta en comprender como las variaciones existentes entre cada área, indica la importancia de establecer concentraciones de fondo de elementos traza en áreas de suelos urbanos, asimismo es prescindible usar los estadísticos matemáticos para determinar la concentración de niveles de fondo en suelos.

- **Wang S., Cai L., Wen H., Luo J., Wang Q., Liu X. (Guangdong, China, 2019)**, en estudio titulado “Distribución espacial y fuentes aportantes de metales pesados en el suelo de una ciudad típica a nivel de condado de la provincia de Guangdong, China”, cuyo objetivo fue investigar el contenido de diez metales pesados (Cr, Hg, As, Pb, Ni, Cd, Ti, Cu, Zn y V) en muestras de suelos superficiales (0-20 cm), teniendo en cuenta su distribución espacial y la fuente aportante en la concentración de elementos traza, en la ciudad de Puning, provincia de Guangdong, China.

El estudio fue transversal, llegando a obtener 413 muestras de suelos superficiales en la ciudad de Puning, se estableció la normalidad estadística de los datos mediante el test de Kolmogorov Smirnov, en la investigación se presentó un factor de



enriquecimiento previsto para Hg, As, Pb, Cd y Zn, como resultado al comparar los niveles de contenido de Hg y As de las muestras de suelos con los valores de referencia de los Estándares de Calidad (ECA) de China se observó que los valores hallados superaban a los valores de referencia. Se concluye que en áreas destinadas para la construcción el contenido medio de Hg, Pb, Cu y Zn en los suelos fue significativamente mayor al contenido medio en suelos agrícolas, pero el uso de suelo no afectó a los demás metales pesados. Las fuentes principales fueron identificadas y distribuidas en mezcla con la geoestadística, teniendo que la fuente principal de Pb, Zn y Cu es la emisión vehicular y deposición atmosférica, áreas con altos puntos de tráfico y áreas cercanas a carreteras principales; el Hg y el Cd tiene aportes de las actividades industriales como la industria farmacéutica, textil y tintorería y las industrias de reciclaje electrónico; para el Cr, Ni, V y Ti la fuente principal de aporte fue el material parental del suelo (Lutita Jurásica); el As provino principalmente de pesticidas o herbicidas, ganadería y fertilizantes usados en actividades agrícolas.

El estudio aporta una base estadística en el empleo del test de normalidad para determinar la distribución de los datos y el cálculo de niveles de fondo.

- **Reiman, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriales, A., Négrel, P. et al. (Europa, 2018)**, en su estudio titulado “Establecimiento de niveles de fondo geoquímicos y umbrales para 53 elementos químicos en suelos agrícolas de Europa”, cuyo objetivo fue establecer la variación de los niveles de fondo geoquímico y los valores umbral de 53 elementos (que incluyen a los elementos potencialmente tóxicos) mediante ICP-MS e ICP-AES en suelos arados en 33 países europeos que cubren un área de 5.6 millones de km<sup>2</sup>.

Se realizó un estudio transversal para identificar áreas con concentraciones altas de 53 elementos en Europa, se recolectaron 2018 muestras en suelos agrícolas y 2024 muestras de suelos de pastoreo en 33 países, las muestras fueron tomadas de los 20 cm superiores en tierras aradas con frecuencia y de los 10 cm superiores en suelos de pastoreo con cubierta de pasto permanente. El análisis estadístico se realizó en tres conjuntos diferentes, uno para todo Europa, un segundo para el sector Norte y un tercero para el sector Sur. Se determinó 3 métodos que brindan valores de umbral geoquímico útiles para identificar inusuales concentraciones elevadas, a diferentes escalas y son el diagrama de probabilidad acumulada (CP, cumulative probability), el percentil 98 y la valla interna de Tukey (Tukey Inner Fence) o también conocida como el bigote superior del boxplot de Tukey.



Concluyen que los valores de umbral geoquímico serán diferentes en cada área, esto es el reflejo de la variada diversidad de condiciones geológicas a escala europea. Los valores de umbral geoquímico pueden mostrar altas concentraciones naturales debido a la presencia de depósitos minerales o litologías con altas concentraciones de ciertos elementos, concluyendo que los valores altos poseen una causa natural por lo general. Refieren que en estudios de indicación de posibles riesgos de toxicidad para la salud humana o el medio ambiente se necesita hacer evaluaciones de riesgos local en áreas específicas.

El estudio aporta una comprensión de la importancia de realizar estudios de nivel de fondo en suelos en diferentes escalas de trabajo, dado que estas variaran por la gran variabilidad morfológica y geológica de cada sector en el espacio geográfico.

- **Louise E., Johnson C., Cave M., Palumbo B., Nathanaill C., Lark R. (Inglaterra, 2013)**, en el estudio titulado “Metodología para la determinación de concentraciones de fondo normales de contaminantes en suelo ingleses”, tuvo por objetivo explorar los suelos superficiales (0-15cm) recopilados para Inglaterra en busca de los niveles de concentración de contaminantes inorgánicos (As, Cd, Cu, Hg, Ni y Pb) y benzo [a] pireno (BaP).

Se realizó un estudio transversal para medir un valor umbral superior a los dominios contaminantes, el cual fue una concentración de fondo normal (NBC) la cual está definida como el límite de confianza al 95% del percentil 95 para los resultados del suelo asociado a un entorno en particular (material parental, mineralización metalífera y actividad minera asociada, entorno urbano).

En general se obtuvo una gran cantidad de datos de suelos con alta calidad y muestreo para Inglaterra, los NBC calculados no mostraron diferencias significativas en los rangos normales de concentración en los métodos estadísticos usados. Concluyen que los suelos de áreas urbanas son las que se han visto más afectadas por la actividad humana dejando una potencial contaminación sobre ellas.

El estudio aporta la base al entendimiento de la contaminación antrópica producida en áreas de suelo residencial.

### 1.7.2 NACIONALES

- **Chira J. (Junín, Perú, 2021)**, en el estudio titulado “Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú”. Cuyos objetivos fueron evaluar la degradación química y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, en el departamento de Junín-Perú.



El estudio fue de tipo transversal, en el estudio se consideró que el producto de procesos de degradación química y los impactos en los suelos son de carácter natural y antropogénico. Se recolectaron 225 muestras superficiales y 64 muestras profundas de suelos, donde se analizaron 54 analitos. Los resultados de las concentraciones de los analitos se compararon con los valores establecidos en los estándares de calidad ambiental para suelos de Perú (ECA) para los elementos normados (Pb, Hg, As y Cd). En sus resultados tres de estos elementos normados superan los ECA de suelos de Perú, como lo fueron el arsénico, cadmio y plomo, las concentraciones de estos elementos están asociadas químicamente a la mineralización existente en la localidad de La Oroya. En el estudio se concluye que la carga metálica que proviene de La Oroya, ha afectado la calidad del agua y suelo. Este estudio aporta una base para realizar un estudio a diferentes niveles de profundidad del suelo con la finalidad de identificar impactos negativos en los suelos al determinar sus niveles de fondo.

- **Ministerio del ambiente (MINAM, 2017)**, en la publicación “Estándares de calidad Ambiental para Suelo de Perú, bajo el D.S. N°11-2017-MINAM”, destaca que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; en este sentido se establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo del territorio peruano, mencionado ECA constituye un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental en Perú.

Se establece los ECA para ocho elementos inorgánicos bajo parámetros de mg/kg, los cuales son: Arsenico, Bario total, Cadmio, Cromo total, Cromo VI, Mercurio, Plomo y Cianuro Libre, en tres usos de suelos: suelo agrícola, suelo residencial y suelo industrial.

Esta publicación aporta una base de comparación con los resultados que se obtendrán en el presente estudio de investigación al comparar los niveles de fondo en suelos del área de estudio.

- **Santos Frances, F., Martínez Graña, A., Alonso Rojo, P., García Sánchez, A. (Cajamarca-Huancavelica, Perú, 2017)**, en su estudio titulado “Determinación de niveles de fondo geoquímicos y valores de referencia y distribución espacial de la contaminación por metales pesados en suelos de la cordillera de los andes (Cajamarca-Huancavelica, Perú)”, cuyos objetivos fueron proponer valores de referencia geoquímico para siete metales pesados potencialmente tóxicos (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, y Zn) y un metaloide (As) en el área de La Zanja, mediante el uso de diferentes índices de contaminación por metales pesados y determinar el grado de



contaminación causado por las actividades mineras en las áreas de Colquirrumi y Julcani.

El estudio fue de tipo transversal, se analizaron 77 muestras de suelos en áreas mineras de La Zanja y Colquirrumi (Departamento de Cajamarca) y Julcani (Departamento de Huancavelica). Los valores de referencia obtenidos en el área de La Zanja fueron 8.26 ppm para Cromo, 56.97 ppm para Níquel, 22.20 ppm para Cobre, 47.42 ppm para Zinc, 27.50 ppm para Arsénico, 4.36 ppm para Cadmio, 4.89 ppm para Mercurio y 44.87 ppm para Plomo. Los valores obtenidos de los diferentes índices de contaminación por metales indicaron que la región de Colquirrumi fue la más contaminada, seguido de la región de Julcani. La zona de La Zanja, a pesar de estar libre de operaciones mineras, presentó una ligera contaminación difusa.

El estudio aporta una base a la realización de investigaciones para proponer niveles de fondo en suelos de las diferentes regiones del Perú dado que son una herramienta criba a estudios de contaminación de suelos.

### 1.7.3 LOCALES:

- **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Perú, 2017)**, en su estudio titulado “Evaluación Ambiental Temprana en el área de influencia del proyecto Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, Provincia de Islay, Departamento de Arequipa, Durante el año 2017- Informe N°078-2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA, OEFA”, cuyos objetivos fueron realizar una evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto Tía María y zonas aledañas y generar información ambiental para una posterior verificación del cumplimiento de las medidas preventivas de riesgos ambientales.

El estudio fue de tipo transversal, se consideró para el muestreo de suelos, el tipo de suelo, uso actual de suelos, la capacidad de uso mayor de suelos y la geología; el muestreo se realizó mediante el uso de barreno en una profundidad de 0 a 30 cm. Se recolectó un total de 14 muestras en suelos agrícolas, 12 muestras en suelos bajo el área de influencia minera del proyecto Tía María y 12 muestras en suelos del santuario Nacional Lagunas de Mejía; se hizo el análisis químico para la determinación de niveles de fondo para 35 elementos metálicos (traza).

En el estudio se concluye que el nivel de arsénico total superó en tres puntos de muestreo en suelos agrícolas al nivel de ECA de suelos agrícolas, producto de aguas de riego con altos contenidos de dicho metaloide. En suelos dentro del área de influencia del proyecto minero Tía María las concentraciones de arsénico, bario,



cadmio, mercurio y plomo no excedieron su valor de ECA. La concentración de cadmio en el área de estudio se ve ligada a la mineralogía de la zona, el cadmio y el zinc mostraron una relación mineralógica.

El estudio es una referencia base para estudiar y determinar niveles de fondo de elementos traza en suelos con uso agrícola, extractivo e industrial, de igual forma es una base para realizar estudios con un número limitado de muestras de suelos.

## **1.8 HIPÓTESIS**

En el área que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga, los niveles de fondo de elementos traza (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl) que son potencialmente tóxicos para la salud, no presentan concentraciones elevadas frente a los niveles establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de Perú (ECA).

## **1.9 VARIABLES**

### **1.9.1 VARIABLE DEPENDIENTE**

- Nivel de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud.

### **1.9.2 VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Uso del suelo



### 1.9.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1.3. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DIMENSIÓN	NATURALIZACIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	CRITERIOS DE MEDICIÓN DE LAS CATEGORÍAS (Datos)
Nivel de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud	GEOMORFOLOGÍA	Cualitativo	Paisaje Geomorfológico	Nominal	Valle Planicie Peneplanicie Altiplanicie Pie de monte Lomerío Montaña
			Relieve Modelado	Nominal	Clasificación según Zink, 1988
			Pendiente	Ordinal	Plana (0-2) Ligeramente Inclinada (2-4) Moderadamente Inclinada (4-8) Fuertemente Inclinada (8-15) Moderadamente Empinada (15-25) Empinada (25-50) Muy Empinada (50-75) Extremadamente Empinada (>75)
	ECOLOGÍA	Cualitativo	Zonas de Vida	Nominal	Clasificación del mapa ecológico del Perú
	GEOLOGÍA	Cualitativo	Estratigrafía	Nominal	Litología



Uso de Suelo	Suelo agrícola	Cualitativo	Estado de uso de suelo, regido por la actividad agrícola.	Nominal	Si
					No
	Suelo industrial	Cualitativo	Estado de uso de suelo, regido por la actividad industrial o extractiva.	Nominal	Si
					No
	Suelo residencial	Cualitativo	Estado de uso de suelo, regido por la actividad residencial	Nominal	Si
					No
Horizonte de suelo	Cualitativo	Nivel de profundidad	Ordinal	Superficial (0-30cm)	
				Profundo (>30 cm)	
Nivel de Fondo	Cuantitativo	Concentración de elementos traza en ppm	De Razón	ppm (partes por millón)	

Fuente: Elaboración Propia



## 1.10 JUSTIFICACIÓN

El estudio de niveles de fondo en suelos son una poderosa herramienta para el desarrollo de directrices para la legislación ambiental (Thu Dung, Cappuyns, Swennen, & Ky Phung, 2013), sirviendo de base para los procesos de identificación y declarar suelos contaminados, y comprender si los patrones de distribución de las concentraciones de los elementos traza son principalmente influenciadas por la naturaleza geoquímica de las rocas o por actividades antrópicas.

En el área que abarcan las subcuencas Bajo Tambo y Linga, existe un conflicto socioambiental desde el 2010, que a la fecha ha cobrado la vida de 7 personas y más de doscientos heridos en el valle de Tambo (Ugarte, 2018). Dicho conflicto es manifiesto de la oposición de los pobladores campesinos a la actividad minera que representa la empresa Southern Perú Copper Corporation – Sucursal Perú, debido a que el mencionado valle desarrolla una intensiva agricultura y representa la despensa del sur del Perú (Castillo et. al. 2011). Dicha oposición se ve fundamentada en los riesgos que estaría expuesto el valle del Tambo con un proyecto de tajo abierto, tales como, contaminación de suelos de cultivo, contaminación de suelos que pueden ser usados para expansión agrícola, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire y su afectación en la salud y la calidad de vida de la población (Ugarte, 2018).

Determinar los niveles de fondo de elementos traza en suelos permitirá conocer el estado actual de los niveles de concentración de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud. Poder determinar los niveles de fondo de elementos traza en suelos son la base para estudios de línea base medioambiental, definir los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelos de un país o región (legislación ambiental), estudios de la calidad de vida y la salud.

Perú cuenta con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, de ocho elementos inorgánicos según MINAM (2017) bajo el Decreto Supremo 011-2017 y dentro de los cuales no se consideran otros elementos inorgánicos que son potencialmente tóxicos. Sin embargo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) viene realizando estudios de evaluación ambiental temprana en áreas específicas bajo influencia minera, a fin de ser un soporte para la posterior verificación del cumplimiento de las medidas preventivas de riesgos ambientales, teniendo como producto determinar los niveles de fondo de 35 elementos traza.



Por lo mencionado es de vital importancia realizar estudios sobre la determinación de niveles de fondo de elementos traza en diferentes áreas y escalas de trabajo, como lo es el presente estudio que permitirá tener niveles de fondo de nueve elementos traza (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl) con potencial tóxico para la salud, en un nivel superficial del suelo y otro en un nivel profundo según el uso de suelos para el área que abarca a las subcuencas Linga y Bajo Tambo en la Región de Arequipa.

## **1.11 MARCO METODOLÓGICO**

### **1.11.1 TIPO DE ESTUDIO**

De acuerdo al objetivo planteado el tipo de investigación es un estudio cuantitativo, observacional de tipo transversal analítico, debido a que solo se midieron las variables en una sola ocasión por cada punto de muestreo para realizar la evaluación de determinar los niveles de fondo geoquímico.

### **1.11.2 DISEÑO METODOLÓGICO**

El diseño del trabajo fue observacional de tipo transversal analítico.

Se dice que es de diseño observacional, ya que no se manipularon las variables en estudio, ni se alteró el contenido de elementos traza en las muestras.

Se dice que es de tipo transversal analítico, dado que el estudio recopiló los datos en un momento dado del tiempo, además de investigar la asociación entre un determinado factor y la variable de interés.

### **1.11.3 EVALUACIÓN DE SUELOS**

#### **1.11.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS**

Se efectuó una recolección de muestras usando una ficha de campo, durante un periodo de 28 días.

#### **1.11.3.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN**

##### **Criterios de inclusión**

- Se incluyeron puntos de muestreo por cada estrato o zona representativa bajo los parámetros de Paisaje Geomorfológico, Relieve Modelado, Litología, Pendiente y Zona de Vida.



### Criterios de exclusión

- Se excluyeron zonas de muestreo inaccesibles por carreteras, trochas o camino de herradura.
- Se excluyeron puntos de muestreo sobre áreas ya seleccionadas que posean parámetros similares de Paisaje Geomorfológico, Relieve Modelado, Litología, Pendiente y Zona de Vida.
- Se excluyeron aquellas zonas que no coincidieron con la preselección de la etapa de precampo.

#### 1.11.3.3 TAMAÑO DE MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO

Se realizó el método de muestreo probabilístico tipo estratificado, con la finalidad de tener la cantidad de información necesario. Teniendo zonas que representen el estrato de muestreo con parámetros únicos.

Se consideraron un total de 194 unidades o estratos de estudio, dentro del cual el número de individuos de estudio es el de un punto de muestreo por estrato, teniendo así la siguiente formula de muestreo:

- Número de estratos: donde “N” es el total de estratos:

$$\sum_{h=1}^L N_h = N; \quad N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_L = 194$$

- Número de individuos o puntos de muestreo por estrato: donde “n” es el tamaño de puntos de muestras seleccionados:

$$\sum_{h=1}^L n_h = n; \quad n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_L = 194$$

Se consideró un punto de muestro por cada estrato de estudio, cada punto de muestreo permitirá obtener 2 muestras de suelos uno a nivel superficial y uno en el nivel más profundo. El desarrollo de la campaña de campo permitió obtener como tamaño muestral un total de 345 muestras entre suelos superficiales (194 muestras) y profundos (151 muestras), según lo siguientes datos:

Muestras de suelos en el Horizonte Superficial = 56.23%

Muestras de suelos en el Horizonte Profundo = 43.77%

Razón entre tamaños muestrales = 1

Nivel de confianza = 95%



## **1.11.4 TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

### **1.11.4.1 INSTRUMENTO DE ESTUDIO**

Se utilizó una ficha de recolección con fines de recabar información sobre los parámetros de posicionamiento geográfico, características del terreno y propiedades físicas de suelo.

El instrumento fue diseñado y administrado por la institución empleadora, siendo cada apartado de la ficha de campo para el levantamiento de suelos.

La ficha de recolección conforma 1) datos generales: número de calicata, nombre del proyecto, presencia de material que afecte la calidad del suelo, edificación que afecte la calidad del suelo, fecha y hora de muestreo, ubicación (localidad, distrito, provincia y departamento), coordenadas geográficas, altitud, número de muestras para caracterización de horizonte, número de muestras para análisis geoquímico, Número de muestras de roca y especialista que realizó el levantamiento de suelo en campo; 2) características físicas del terreno: pendiente, relieve/modelado, forma del terreno, micro relieve (plano, ligeramente ondulado, ondulado y quebrado), material madre, litología/facies, drenaje, napa freática, permeabilidad, condición climática, vegetación, fragmentos gruesos superficiales, tamaño de fragmentos, encostramiento, consistencia, grietas (superficiales, profundidad), distancia de grieta, uso del suelo, erosión, grado de erosión; 3) descripción de cada horizontes de suelo: horizontes, espesor, forma del límite, amplitud del límite, textura al tacto, estructura (tipo, tamaño, grado e intemperización de los fragmentos, color del suelo (matiz del color, value y croma), consistencia (en seco, en húmedo, en mojado: adhesividad, en mojado: plasticidad, suelo orgánico (%), carbonatos (%), contenido de yeso (%), olor, cementación y compactación (continuidad, estructura naturaleza y grado de cementación), fragmentos rocosos y artefactos (porción (%), tamaño de fragmentos, tamaño de artefactos y forma), material hecho por el hombre (tipo de artefactos), moteados (abundancia (%), tamaño (mm) y distribución de las manchas), Matiz del color, Value, Chroma, contraste y naturaleza de moteado, Muestras para análisis de potencial redox, revestimiento y concreciones minerales; 4) Características Biológicas: actividad Biológica: raíces (aspecto global). tamaño de raíces, cantidad de raíces, profundidad de enraizamiento (cm), y otros rasgos biológicos (abundancia y tipo); y 5) Notas adicionales.



## **1.11.4.2 ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.11.4.2.1 ETAPA 1: TRABAJO EN GABINETE**

En esta primera etapa se recopiló antecedentes y documentaciones necesarias, procediéndose a su revisión bibliográfica. La respectiva bibliografía se obtuvo de los diferentes repositorios del país; como Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Universidades, y otros.

Los ítems que fueron recopilados se basaron en información de estudios, geológicos, geoquímicos, ambientales, etc. La información cartográfica se obtuvo del Centro Nacional de Información Geográfica (IGN) y la cartografía geológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

La delimitación del área de estudio abarca a la subcuenca Linga y subcuenca Bajo Tambo, la limitación de esta área se toma de la base de datos de Unidades Hidrológicas de Nivel 5 (subcuencas) de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se obtuvieron imágenes satelitales para el cartografiado de unidades geológicas, además del uso de las cartas geológicas nacionales a escala 1:100,000 y 1:50,000.

Se realizó la elaboración de mapas de paisaje geomorfológico, mapa de relieve modelado, mapa litológico, mapa de pendiente y mapa de zona de vida todos ellos integrados en un mapa, y al ser integradas permitieron la elaboración del programa de trabajo de campo incluido el diseño de puntos de muestreo. El diseño de puntos de muestreo consta de un muestreo aleatorio estratificado.

### **1.11.4.2.2 ETAPA 2: TRABAJO DE CAMPO**

En esta etapa se realizó dos campañas de campo, donde se hizo el levantamiento de perfiles de suelos mediante la apertura de calicatas en los puntos de muestreo pre definidos en la etapa 1, el uso de la ficha de recolección permitió realizar la descripción de horizontes de suelos, muestreo de caracterización para cada horizonte hallado por calicata, muestreo del horizonte superficial (0 – 30 cm) y del horizonte profundo (> 30 cm) para el análisis edafquímico de elementos traza, toma de muestras duplicadas para la validación de resultados edafquímicos de elementos traza obtenidos de laboratorio, etiquetado de muestras y correcciones cartográficas en los mapas de geología, litología y pendientes. En esta etapa se realizó el envío de muestras a Laboratorio para el análisis geoquímico de 52 elementos trazas (entre ellos 8 son caso de estudio) mediante el método de digestión multiácida y para el Mercurio con digestión de agua regia mediante IPC/M.



### **1.11.4.2.3 ETAPA 3: TRABAJO EN GABINETE (POST-CAMPO)**

Con los datos obtenidos en la etapa 2 (trabajo de campo), se desarrolló el registro, digitalización y análisis de la información recopilada de campo, para posteriormente realizar la elaboración de los mapas, y los análisis geoestadísticos de determinación de niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud de las muestras de suelos.

Para esta etapa se utilizaron herramientas de código libre (open source) como el lenguaje de programación R-Project en el entorno de desarrollo (*IDE*) de RStudio y el software QGIS 3.16.11 para el manejo de Información geográfica, cada una de las herramientas se usaron para el mejor análisis y entendimiento de los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud de las muestras de suelos.

### **1.11.5 TÉCNICA DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Para la construcción de la base de datos, la limpieza y codificación de los datos se utilizó Microsoft Excel 2019. Asimismo, los datos se analizaron utilizando el lenguaje de programación de R-Project 4.0.5 bajo el entorno de desarrollo (*IDE*) de RStudio versión 1.4.1106. Se desarrollaron Scripts o líneas de código de programación para el cálculo estadístico de los niveles de fondo para nueve elementos traza teniendo en consideración el tamaño muestral, el tipo de distribución de la data, el nivel de muestreo vertical (suelos superficiales o suelos profundos) y el uso de suelo (agrícola, industrial, residencial y sin uso).

Se desarrollo el análisis estadístico y la creación de gráficos en el lenguaje de R, usando el entorno de RStudio.

En mencionado entorno de trabajo (RStudio) se realizó un análisis y procesamiento estadístico univariado; para el análisis descriptivo se utilizó las frecuencias y los porcentajes en las variables cualitativas y para las numéricas se evaluaron primeramente los supuestos de normalidad (Ahrens, 1954).

Se calculó el coeficiente de variación (CV) el cual si es mayor al 70% nos indica que las representaciones gráficas serán más informativas en escala logarítmica (Reimann, Filzmoser, & Garrett, 2008).

Para determinar los supuestos de normalidad se usó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (modificado de Lilliefors) la cual está especialmente desarrollado para contrastar la hipótesis de normalidad cuando el número de observaciones es mayor a 50, en caso



el número de observaciones sea menor a 50 se usó la prueba de Shapiro-Wilk (Dallal & Wilkinson, 1986; y Reimann, Filzmoser and Garrett., 2008). En el supuesto de no contar con una distribución normal de los datos se procedió a la transformación de los datos para el cálculo de los valores de fondo. Posteriormente según la distribución hallada se seleccionó la mejor medida de tendencia central (media aritmética o mediana) y de dispersión (desviación estándar o desviación absoluta de la mediana) para presentar los estadísticos descriptivos y determinar los niveles de fondo de los elementos traza estudiados (Hawkes and Webb, 1962; Miesch et. al., 1976; Tidball and Ebens, 1976; Tukey, 1977; Shacklette and Boerngen, 1984; Chen et al, 1999; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 EL SUELO

De acuerdo con Silva & Correa (2009), el suelo es el componente esencial del ambiente, en ella se desarrolla la vida, es vulnerable, de difícil y larga recuperación (se forma desde miles a cientos de miles de años), y de limitada extensión, por lo expuesto el suelo es considerado como un recurso natural no renovable, dentro de sus factores de formación se haya el tipo de roca parental, la cual tendrá características propias según cada área geográfica.

Loaiza (2010), refiere que el suelo desde el punto de vista geológico es considerado como el material superficial en la corteza terrestre, esta se encuentra en el estado intermedio entre el ciclo de erosion de roca y el proceso de convertirse en sedimento. Desde un punto de vista arqueologico y antropologico el suelo es un registro del pasado. De acuerdo con Loaiza (2010), el Suelo esta sujeto a la accion de organismos, controlado por factores topograficos y geológicos, tiene su propia temporalidad y se comporta dependiendo de las condiciones climaticas de cada sitio.

#### 2.2 ELEMENTOS TRAZA

Al hablar sobre elementos químicos en los suelos nos referimos a los elementos traza, debido a que sus ocurrencias de concentración son menores a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  (o ppm) (Hooda, 2010). En la tabla periódica encontramos 70 elemento metálicos, de los cuales 59 pueden ser llamados “metales pesados”, debido a que su peso atómico es mayor a la del hierro (Fe); por lo mencionado, metales como el vanadio, cromo o manganeso y otros que no son metales como el arsénico, flúor y fosforo son excluidos de la denominación de metales pesados, por lo tanto, resulta mejor hacer mención de contaminación por “elemento traza” (Galán & Romero, 2008).

El contenido de elementos traza en suelos posee diferentes fuentes de origen tales como, litogénico (cuyo origen es de la litosfera o material parental), pedogénico (procesos de formación del suelo) y antropogénico (elementos depositados sobre y/o en suelos como resultado de las actividades humanas) (Kabata & Mukherjee, 2007). De acuerdo a su origen podemos ver que los elementos traza están ligados al material parental propio de cada área geográfica, la geología juega un papel importante debido a que es variada y de características únicas en cada espacio geográfico de la tierra. Thu Dung et al., (2013) señala que las concentraciones de elementos traza, dependen



en gran medida de las características geológicas de cada región geográfica, su composición mineral, el tamaño de grano, entre otras características.

Los elementos traza se clasifican como esenciales y los no esenciales, ambos son de vital importancia en el normal desarrollo y la salud de los organismos (Kabata & Mukherjee, 2007). Muchos de los elementos traza son esenciales para el desarrollo y buen crecimiento de las plantas, los animales y seres humanos, aunque también pueden ser tóxicos si sobrepasan ciertos umbrales o límites de concentración, llegando a ser perjudiciales sobre el medio ambiente y sus componentes (Kabata & Pendias, 2001; Hooda, 2010), y por ello representan con mayor frecuencia una fuente potencial de contaminación (Caro & Jiménez, 2013).

Según Galán y Romero (2008), de todos los elementos traza que pueden ser hallados en los suelos, los elementos traza Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn, son considerados muy tóxicos y muy disponibles en la mayoría de suelos. Así mismo, los elementos traza plata (Ag), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), estaño (Sn) y talio (Tl) presentan una fácil movilidad frente a la actividad antrópica en cantidades mucho más elevadas que a la de los procesos geológicos (Novotny, 1995; citado por Galán & Romero, 2008).

### **2.3 NIVELES DE FONDO**

El referente de niveles de fondo nace ante la imposibilidad actual de encontrar concentraciones de elementos traza naturales (background) en suelos. De acuerdo con Gough (1993) «El background es la concentración natural de un elemento en el suelo sin influencia antrópica alguna».

Es necesario aclarar que en la exploración geoquímica se usa el término background geoquímico como referente a la concentración de un elemento para distinguir anomalías en la búsqueda de zonas mineralizadas (Louise et. al., 2013), mientras que para la geoquímica ambiental puede ser un indicador de un elemento contaminante o insuficiente (Cheng et al., 2014).

De acuerdo a lo expuesto líneas arriba, aun no existe un criterio común y/o universal aceptado que defina “niveles de fondo” (Ramos, 2002). Salminen y Tarvainen (1997) refieren que el nivel de fondo o natural representa la concentración de un elemento en una región establecida y en un tiempo dado. BSI (citado por Louise et. al., 2013) refiere que en estudio de suelos los niveles de fondo son los contenidos de una sustancia en



el suelo resultado de procesos geológicos naturales y procesos de formación del suelo e incluye la contaminación difusa antrópica. MINAM (2017) bajo el Decreto Supremo 012-2017 refiere el nivel de fondo, como “Concentración de origen natural de una o mas sustancias químicas (...), que puede incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio potencialmente contaminado o sitio contaminado”. Según Dudka et. al. (1995), el nivel de fondo esta definido por el limite superior de la concentración de fondo de un elemento con un grado de confianza significativo. Sun et al. (2019) refieren que los niveles de fondo son el reflejo de la geología subyacente y los procesos inmersos en la formación del suelo, por lo cual mencionados niveles variaran entre ubicaciones geográficas y son expresadas comúnmente en rangos de valores para un país o región en particular.

Por lo expuesto, entenderemos por niveles de fondo como el rango de nivel de concentración de un elemento en los suelos para una región en un periodo dado, dichos niveles son el reflejo de los procesos geológico y de formación que intervienen en el desarrollo del suelo incluido la contaminación difusa.

### **2.3.1 CALCULO DE NIVELES DE FONDO**

Para determinar los niveles de fondo de elementos traza en muestras de suelo, es necesario conocer el tipo de distribución de los datos, valiéndonos de pruebas de normalidad y gráficos estadísticos (Ahrens, 1954).

Entre las pruebas de normalidad tenemos el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (modificado de Lilliefors) la cual está especialmente desarrollado para contrastar la hipótesis de normalidad ( $p\text{-value} > 0.05$ ) cuando el número de observaciones es mayor a 50, en caso el número de observaciones sea menor a 50 se usa la prueba de Shapiro-Wilk (Dallal & Wilkinson, 1986; y Reimann, Filzmoser and Garrett., 2008).

Una vez determinado el tipo de distribución de datos se usa las siguientes metodologías para calcular los niveles de fondo de elementos traza:

La primera metodología se centra en la media ( $\bar{x}$ ) como valor de tendencia central y la desviación estándar (sd); por lo cual se tiene la formula Media más dos veces la Desviación estándar [ $\bar{x} + 2*sd$ ] y la Media menos dos veces la Desviación estándar [ $\bar{x} - 2*sd$ ] (Hawkes and Webb, 1962).

La segunda metodología se centra en la mediana (med) y la desviación absoluta de la mediana (MAD) (Tukey, 1977). Así tenemos las siguientes fórmulas de cálculo de elementos traza, se calcula la Mediana más dos veces la Desviación absoluta de la



mediana [ $\text{med} + 2(\text{MAD})$ ] y la Mediana menos dos veces la Desviación absoluta de la mediana [ $\text{med} - 2(\text{MAD})$ ].

Estas dos metodologías se usaron para el cálculo de niveles de fondo con una distribución normal y a su vez para los datos que no posean una distribución normal, previa transformación logarítmica de los datos.

## **2.4 TOXICIDAD DE ELEMENTOS TRAZA**

Se debe considerar que un elemento traza llega a ser tóxico para la salud cuando ingresa al organismo en grandes proporciones (Alarcón-Corredor, 2009).

### **2.4.1 ARSÉNICO (As)**

El arsénico es conocido por ser altamente tóxico para los humanos y animales. Es un elemento esencial en el desarrollo y crecimiento de algunos organismos. La ingestión elevada de arsénico puede conllevar al desarrollo de cáncer, hipertensión, desorden respiratorio, entre otros. Sus efectos son visibles dentro de un periodo de 2 a 6 años y esta manifestación dependerá de la concentración de arsénico ingerido en productos alimenticios y el agua (Kabata & Mukherjee, 2007).

Nriagu & Pacyna (citado por Bundschuh et al., 2008) señalan, que el arsénico es uno de los elementos más abundantes en el ambiente; su presencia se relaciona con su origen natural y los procesos de meteorización de sedimentos y rocas, menas minerales cuyo origen es hidrotermal, erupciones volcánicas, partículas de polvo, actividad geotermal, entre otros. Por ello es uno de los elementos más estudiados.

Kabata & Mukherjee (2007), indican que el arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, entre los niveles de 0.5 a 2.5 ppm, y en los suelos se encuentra entre niveles  $< 0.1$  a 30 ppm, llegando en suelos orgánicos hasta los 67 ppm. Los suelos con práctica agrícola pueden ser una fuente de arsénico, dado que este elemento se puede hallar en contenidos elevados en pesticidas, fertilizantes y el abono (estiércol).

El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2017) bajo el Decreto Supremo 011-2017, establece para el elemento arsénico, un nivel de fondo de 50 ppm para suelos agrícolas, en suelos industrial/extractivo un nivel de fondo de 140 ppm y en suelos residenciales un nivel de fondo de 50ppm.

### **2.4.2 CADMIO (Cd)**

El cadmio es considerado como uno de los elementos más tóxicos para el ambiente y la salud, este posee una afinidad por el azufre lo que hace que sea más móvil en ambientes ácidos. El cadmio exhibe efectos adversos en los procesos biológicos del



hombre, plantas y animales, revela un gran potencial adverso a la afectación del medio ambiente y la calidad de alimentos. En los seres humanos la ingesta de cadmio se da principalmente por inhalación de polvo y la ingestión de comidas y bebidas. Las altas concentraciones de cadmio en el cuerpo muestran efectos de daño renal, hipertensión, cambios cancerígenos principalmente de riñón y próstata, deformación esquelética, entre otros (Kabata & Mukherjee, 2007).

En la corteza terrestre el contenido promedio de cadmio es de 0.1 a 0.2 ppm, su abundancia sobre las rocas ígneas como en rocas sedimentarias es bastante similar. En los suelos el rango promedio global de concentración esta entre 0.06 y 1.1 ppm, con un promedio de 0.5 ppm (Kabata & Mukherjee, 2007).

El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2017) bajo el Decreto Supremo 011-2017, establece para el elemento cadmio, un nivel de fondo de 1.4 ppm para suelos agrícolas, en suelos industrial/extractivo un nivel de fondo de 22 ppm y en suelos residenciales un nivel de fondo de 10 ppm.

#### **2.4.3 COBRE (Cu)**

De acuerdo con la ATSDR (2004), el cobre en bajas concentraciones en la dieta es esencial para los organismos, incluyendo a los humanos. Su ingesta se da a través de alimentos o agua, tierra (polvo), vapores u otras sustancias que contienen cobre.

Kabata & Mukherjee (2007), señalan que la deficiencia de cobre en el ser humano genera enfermedades tales como: lento crecimiento, pérdida de cabello, pérdida de peso, trastornos nerviosos, problemas cardiovasculares, osteoporosis, entre otros; mientras que un exceso de cobre en el cuerpo humano puede afectar procesos fisiológicos como: deterioro de las propiedades de la membrana, deterioro en las funciones del ADN y las enzimas, y daño a nivel celular.

Kabata & Mukherjee (2007), señala que la ocurrencia de cobre sobre la corteza terrestre está en concentraciones entre 25 a 75 ppm, siendo las rocas ígneas máficas y los sedimentos arcillosos las que muestran mayor tendencia en la concentración. En los suelos su concentración promedio alrededor del mundo se encuentra en el rango de 10 a 30 ppm (suelos con uso agrícola, residencial, entre otros), por lo general el cobre se encuentra acumulado en pocos centímetros de los suelos superficiales.

#### **2.4.4 MERCURIO (Hg)**

El mercurio es un elemento conocido como un contaminante ambiental desde tiempos prebíblicos. Su abundancia en la corteza llega a ser muy baja, con concentraciones entre 0.02 a 0.06 ppm, este elemento puede llegar a concentrarse en sedimentos



arcillosos. El nivel de fondo del mercurio en suelos no son fáciles de estimar a causa de la fuerte afinidad a los suelos, los cuales actúan como depósitos (Kabata & Mukherjee, 2007).

El mercurio tiene efectos agudos o crónicos en los seres humanos, su ingesta se da a través de la inhalación de polvo o el consumo de productos como cereales y otros alimentos que posean altos contenidos de mercurio (Kabata & Mukherjee, 2007). Según Drash et al. (2004), las cantidades excesivas de mercurio en el cuerpo inhiben la mayoría de las funciones metabólicas, lo que conduce a la muerte.

Kabata & Mukherjee (2007) señalan, que la toxicidad del mercurio en el ser humano está ligado a efectos cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos, inmunología deteriorada, enfermedad coronaria, daño al sistema nervios, deformación del ADN, baja reproducción, perturbación en el crecimiento y desarrollo de los niños, entre otros. El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2017) bajo el Decreto Supremo 011-2017, establece para el elemento mercurio, un nivel de fondo de 6.6 ppm para suelos agrícolas y residenciales, en suelos industrial/extractivo un nivel de fondo de 24 ppm.

#### **2.4.5 NÍQUEL (Ni)**

Es considerado como un elemento esencial para los organismos del suelo, en la corteza terrestre la abundancia promedio de níquel es estimada alrededor de 20 ppm, y en las rocas ultramarinas en un rango de 1400 a 2000 ppm. Alrededor del mundo el rango de concentración de níquel en los suelos es muy amplio entre 0.2 a 450 ppm, pero su nivel de fondo común varía entre 19 a 22 ppm. Las concentraciones de níquel en los suelos está fuertemente ligada a su roca madre, en suelos superficiales su concentración es reflejo de la adición del proceso de formación del suelo y de la contaminación (Kabata & Mukherjee, 2007).

Kabata & Mukherjee (2007), señala que el exceso de níquel en los seres humanos han indicado varios efectos, entre los más importantes se tienen efectos de desarrollo, neurológicos, reproductivos, genotóxicos y cancerígenos.

#### **2.4.6 PLOMO (Pb)**

Es uno de los contaminantes ambientales más conocidos, es causante de efectos nocivos en ecosistemas, animales y humanos. El contenido natural de plomo en los suelos proviene principalmente del material parental (roca madre), en los sedimentos su abundancia está en función de la fracción de arcilla de su contenido; el valor medio global calculado de plomo en los suelos es en promedio 25 ppm (Kabata & Mukherjee,



2007).

El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2017) bajo el Decreto Supremo 011-2017, establece para el elemento plomo, un nivel de fondo de 70 ppm para suelos agrícolas, en suelos industrial/extractivo un nivel de fondo de 800 ppm y en suelos residenciales un nivel de fondo de 140 ppm.

Desde siglos pasados el plomo es conocido por su toxicidad y sus efectos adversos en la salud, el cuerpo humano no es capaz de diferenciar entre el calcio y el plomo por lo que el plomo puede llegar a ser almacenado en huesos y dientes, el exceso en el cuerpo humano conlleva a efectos tales como: daño al sistema nervioso, daño al riñón, anemia, deterioro mental en los niños, carcinogenicidad, entre otros (Kabata & Mukherjee, 2007).

#### **2.4.7 ANTIMONIO (Sb)**

La ATSDR (1992) indica que el antimonio se haya en cantidades pequeñas en la corteza, en el medio ambiente los niveles son muy bajos que por lo general no se pueden medir, el antimonio en los suelos y en los sedimentos muestra una fuerte fijación a partículas con contenidos de hierro, manganeso o aluminio.

Kabata & Mukherjee (2007) señalan que el nivel de fondo del antimonio en suelos superficiales está en el rango de 0.05 a 4 ppm, el aumento en los niveles de antimonio en el medio ambiente están ligadas en regiones del mundo donde existe áreas mineras y zonas mineralizadas particularmente con minerales de cobre, plata y plomo. El antimonio a menudo es usado como path-finder para la exploración conjuntamente con el arsénico y el bismuto (Hale, citado por Kabata & Mukherjee, 2007).

El antimonio es un veneno acumulativo para el ser humano, los efectos más comunes en la salud son: problemas cancerígenos y mutagénicos, diarrea, nefropatía, encefalopatía, dolor articular, problemas gastrointestinales, anemia, problemas del corazón (Kabata & Mukherjee, 2007).

#### **2.4.8 ESTAÑO (Sn)**

Los seres humanos estamos expuestos al estaño por ingestión, inhalación y adsorción dérmica. Siendo la principal fuente de ingestión de estaño mediante los alimentos, es necesario mencionar que se exceptúa áreas donde las concentraciones de estaño sean elevadas en agua y aire (Biégo et al., citado por Kabata & Mukherjee, 2007).

En general el estaño en sus compuestos inorgánicos no son causa de efectos perjudiciales, si se consumen en grandes cantidades se puede presentar dolores de



estómago, anemia y problemas en el hígado y riñón (ATSDR, 2005).

El estaño se distribuye en la corteza terrestre con un promedio de 2 ppm y muestra incrementos en su concentración en rocas igneas acidas y sedimentos arcillosos (Kabata & Mukherjee, 2007). Shacklette & Boerngen (citado por Kabata & Mukherjee, 2007) señalan que el valor promedio de estaño en suelos de USA esta en un rango de 0.6 a 1.7 ppm. Eckel & Langley (citado por Kabata & Mukherjee, 2007) estiman un nivel de fondo promedio de 0.89 ppm en suelos de US. Takeda et al. (citado por Kabata & Mukherjee, 2007) señala que en contenido promedio de estaño en suelos agrícolas de Japón se encuentran en el rango de 2 a 3.1 ppm.

En suelos sin contaminación las altas concentraciones de estaño derivan del contenido en la roca caja (Kabata & Mukherjee, 2007).

#### **2.4.9 TALIO (TI)**

El contenido de Talio en la corteza de la tierra esta concentrada en rangos de 0.85 a 1 ppm, su concentración incrementa rocas igneas acidas y contenidos arcillosos en rocas sedimentarias; en los suelos su concentración esta controlada por el material parental asi como por la contaminación, la abundancia de niveles de fondo varia entre 0.01 a 2.8 ppm, incrementando su contenido de talio en suelos organicos y arcilloso (Kabata & Mukherjee, 2007).

En suelos de Alemania el rango de concentración de fondo es de 0.2 a 4.0 ppm (Scholl, citado por Kabata & Mukherjee, 2007); en suelos incontaminados de áreas de jardín en Canadá el rango de concentración es de 0.17 a 0.22 ppm (Fergusson, 1990).

Brockhaus et al. (citado por Kabata & Mukherjee, 2007) señala que las altas concentraciones de Talio generan efectos de trastornos del sueño, dolor de cabeza, fatiga, síntomas pelineuríticos y calvicie.

### **2.5 MARCO CONCEPTUAL**

- **Contaminación antrópica:**

Es la alta concentración de un elemento producto de una fuente de actividad humana tales como actividad industrial, parque automotriz, actividades extractivas, uso de pesticidas en actividades agrícolas, entre otras.

- **Contaminación geogénica:**

Según Galán y Romero (2008), es la concentración elevada (anómala) de uno o varios elementos químicos producto de la concentración que posee el material parental del que se formó el suelo o por otras actividades como puede ser lixiviado de



mineralización o el vulcanismo.

- **Elemento traza:**

Un elemento traza es aquel elemento que se encuentra en cantidades relativamente bajas (mg/kg) en la corteza de la tierra, suelos y plantas.

- **Niveles de Fondo:**

Rango de nivel de concentración de un elemento en los suelos para una región en un periodo dado, dichos niveles son el reflejo de los procesos geológico y de formación que intervienen en el desarrollo del suelo incluido la contaminación difusa.

- **Suelo Superficial:**

Representa el suelo en su parte más expuesta al medio ambiente, se considera un suelo superficial a suelos entre los 10 a 20 cm de la capa superior.

- **Suelo Profundo:**

Representan suelos que se encuentran por debajo de los 30 cm de profundidad (>30cm) (Ander et al., 2013).

- **Suelo Agrícola:**

Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados, posee aptitud para el desarrollo de ganadería (MINAM, 2017).

- **Suelo Industrial:**

Suelo en el cual la principal actividad que se desarrolla es la extractiva y/o el aprovechamiento de los recursos naturales, tales como, actividades mineras, hidrocarburos, etc.) (MINAM, 2017).

- **Suelo Residencial:**

Suelo que es ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación de esparcimiento (MINAM, 2017).



## CAPITULO III

### MARCO ECOLÓGICO

#### 3.1 ZONAS DE VIDA

Las diferentes áreas terrestres de la zona de estudio de acuerdo a su comportamiento global bioclimático muestran nueve zonas de vida según el mapa ecológico del Perú (Ministerio de Agricultura, 1995). Una zona de vida es una región biogeográfica delimitado por parámetros climáticos (temperatura y precipitaciones) que agregan características al desarrollo de los suelos. (Ver Figura 3.1; Anexo 8)

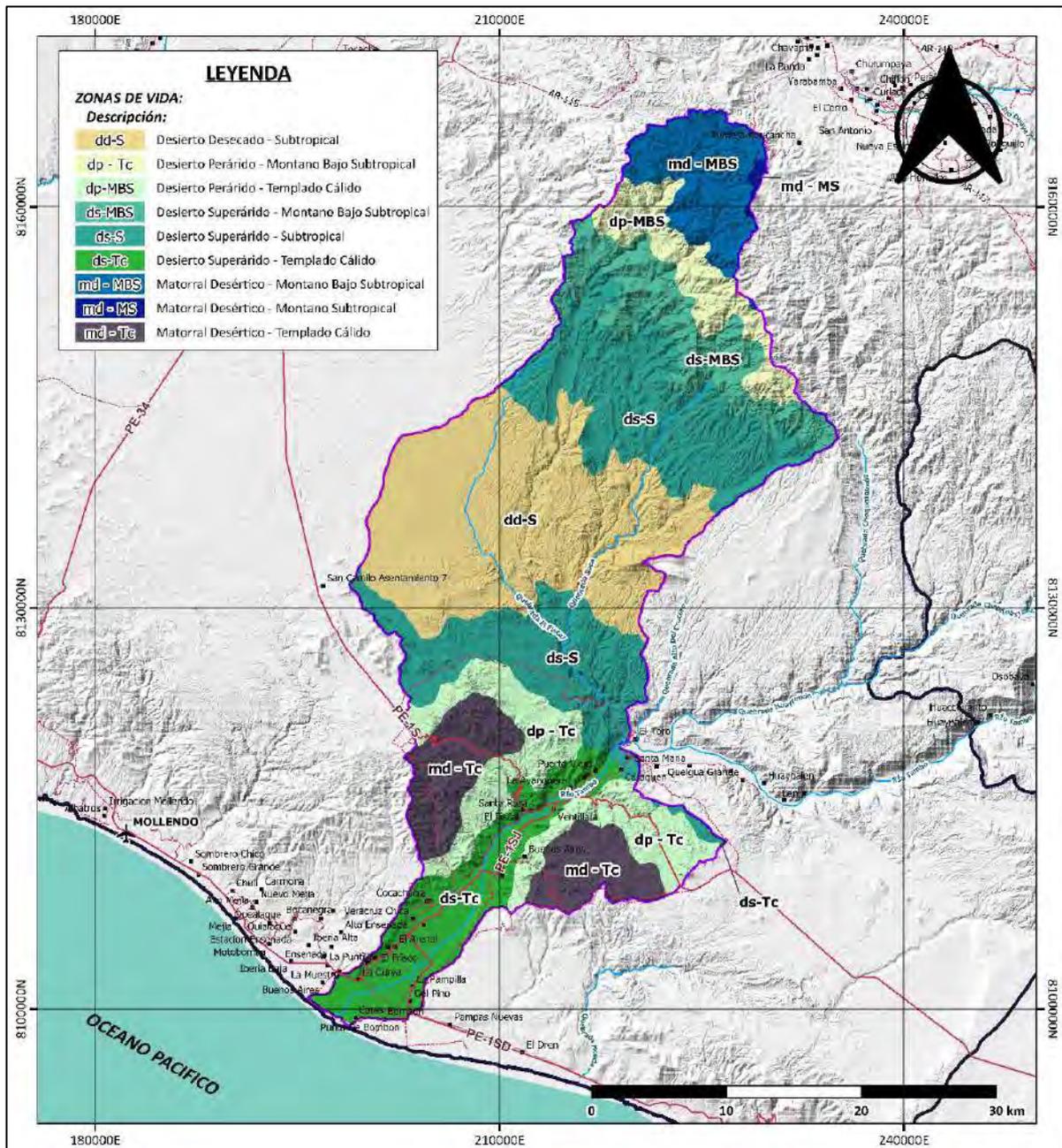


Figura 3.1. Zonas de Vida, en la figura observamos la distribución y la extensión de las Zonas de vida sobre el área de estudio.

Fuente: Modificado de INGEMMET



- **Desierto desecado - Subtropical (dd-S)**

Se extiende a lo largo del litoral, comprende planicies y las partes bajas de los valles costeros. Posee elevaciones desde el nivel del mar hasta los 1800 metros de altitud. Se distribuye en una superficie de 30624.364 hectáreas y totaliza el 26.19% de la superficie del área de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura anual máxima es de 22.2°C y la media mínima es de 17.9°C, mientras que el promedio máximo de precipitación anual es de 44 mm y el promedio mínimo es de 2.2 mm. La vegetación existente es escasa y en ocasiones no existe (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Desierto superárido - Subtropical (ds-S)**

Geográficamente se extiende a lo largo del litoral, comprendiendo los llanos costeros de la costa norte y las estribaciones bajas de la vertiente occidental andina, entre el nivel del mar y los 1000 metros de altitud. Se distribuye en una superficie de 29521.329 hectáreas y totaliza el 25.25% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima es de 20.2°C y la media anual mínima es de 19.8°C, el promedio máximo de precipitación anual es de 49 mm y el mínimo es de 18 mm. Sobre esta zona de vida la vegetación es tanto abundante en los lugares húmedos, propios de las vegas y lechos de los ríos secos o al lado de las riberas de los valles aluviales irrigados (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Desierto superárido - Montano bajo subtropical (ds-MBS)**

Se distribuye en la región latitudinal subtropical del Perú, geográficamente se distribuye a lo largo de las vertientes occidentales de los andes, entre los 500 y 2300 m.s.n.m. Posee una extensión de 9172.389 hectáreas y totaliza el 7.85% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima varía de 12°C a 18°C y el promedio máximo de precipitación anual es variable entre 31.25 y 62.5 mm. La vegetación es muy escasa, apareciendo un tapiz graminal de vida efímera durante la estación de lluvias veraniegas (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Desierto superárido - Templado cálido (ds-Tc)**

Se ubica en la franja latitudinal templado cálido, geográficamente se distribuye a lo largo de las vertientes occidentales de los andes, entre los 500 y 2300 m.s.n.m. Posee una extensión de 11576.963 hectáreas y totaliza el 9.9% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima es de 19.5°C y la media anual mínima es de 16.1°C, el promedio máximo de precipitación anual es de 47.3 mm y el mínimo es de 3.4 mm. La vegetación es muy escasa, apareciendo un



tapiz graminal de vida efímera durante la estación de lluvias veraniegas (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Desierto perárido - Montano bajo subtropical (dp-MBS)**

Se extiende a lo largo de la franja latitudinal subtropical, posee elevaciones entre los 2000 a 2400 metros de elevación sobre el nivel del mar. Posee una extensión de 6188.134 hectáreas y totaliza el 5.29% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima es de 16.4°C y la media anual mínima es de 10.6°C, el promedio máximo de precipitación anual es de 102.2 mm y el mínimo es de 63.5 mm. La vegetación es escasa y se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominada por gramíneas, así como arbustos, subarbustos y cactáceas (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Desierto perárido - Templado cálido (dp-Tc)**

Se ubica en la franja latitudinal templado cálido, posee elevaciones entre los 2000 a 2400 metros de elevación sobre el nivel del mar. Posee una extensión de 12055.276 hectáreas y totaliza el 10.31% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual de 18.3°C, el promedio de precipitación anual es de 74.4 mm. La vegetación es escasa y se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominada por gramíneas, así como arbustos, subarbustos y cactáceas (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Matorral desértico - Montano bajo subtropical (md-MBS)**

Ubicada en la franja latitudinal subtropical, se extiende a lo largo de la región costera ocupando dos frentes uno entre las elevaciones de 2000 a 2900 metros de elevación, y el segundo entre los 500 a 1000 metros de altura. Posee una extensión de 7480.805 hectáreas y totaliza el 6.4% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima es de 13.5°C y la media anual mínima es de 11°C, el promedio máximo anual de precipitación es de 222.2 mm y el promedio mínimo es de 120 mm. La vegetación es escasa y de tipo xerofítico (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Matorral desértico - Templado cálido (md-Tc)**

Se distribuye en la franja latitudinal templado cálido, se extiende a lo largo de la región costera ocupando dos frentes uno entre las elevaciones de 2000 a 2900 metros de elevación, y el segundo entre los 500 a 1000 metros de altura. Posee una extensión de 10036.36 hectáreas y totaliza el 8.58% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura varía entre 12°C a 17°C y el promedio de precipitación



varía entre 125 y 250 mm. La vegetación es escasa y de tipo xerofítico (Ministerio de Agricultura, 1995).

- **Matorral desértico - Montano subtropical (md-MS)**

Se ubica en la región latitudinal subtropical, se distribuye altitudinalmente entre los 3000 a 3500 m.s.n.m. Posee una extensión de 259.553 hectáreas y totaliza el 0.22% de la superficie de trabajo (Figura 3.1; Anexo Mapa 3). La biotemperatura media anual máxima es de 10.6°C, el promedio máximo de precipitación anual es de 260.7mm. La vegetación natural dominante está constituida por arbustos, sub-arbustos y cactáceas, además de una cubierta débil de gramíneas perennes anuales que se desarrollan en periodos cortos de lluvias veraniegas (Ministerio de Agricultura, 1995).



## CAPITULO IV

### MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

#### 4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La geología presente en el área de estudio que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga, está caracterizada por presentar afloramientos de rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas e intrusivas.

Las unidades litoestratigráficas del área de estudio muestran edades del Precámbrico al Cuaternario reciente (Anexo 9).

##### 4.1.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se tomaron como base teórica los estudios realizados en la hoja 35-S Cuadrángulo de Punta de Bombón elaborado por Bellido Bravo & Guevara Rosillo (INGEMMET, 1963) y las hojas 34-S Cuadrangulo de La Joya (INGEMMET, 1968), y 34-T Cuadrángulo de Puquina (INGEMMET, 1978) desarrollado por García Márquez de los boletines y planos de trabajo de la Seria A del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), También se usó como base la Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de La Joya 34-S (Valencia & Chacaltana, 2000) (ver Figura 4.1).

##### 4.1.1.1 PRECÁMBRICO

###### 4.1.1.1.1 Complejo Basal de la Costa (PE-gn)

Compuesta por dioritas, granitos, gneis y esquistos de edad Precambriano a Paleozoico inferior (Bellido & Narváez, citado por INGEMMET, 1963); en el área del valle de Tambo el gneis es macizo, con regulares bandamientos a impreciso, con tonos de coloración de gris oscuro a verdosos con bandas y lentes de ortosa. El granito posee un color rojizo o rosado con textura macrogranular a pegmatítico (INGEMMET, 1963), se presenta en forma de diques, stocks y pequeñas apófisis intruyendo a los gneis (INGEMMET, 1968).

##### 4.1.1.2 PALEOZOICO

###### 4.1.1.2.1 Grupo Cabanillas (D-c)

El grupo Cabanillas fue llamado antes como Fm. Yamayo, suprayace en discordancia angular al complejo Basal de la Costa e infrayace en discordancia angular a la Formación Chocolate. Presenta una serie de areniscas de color marrón con intercalaciones de limo arcillitas, conglomerado. Aflora en las cercanías del cerro chilenos. Los afloramientos conforman areniscas finas de granos redondeados a sub redondeados. Se encuentran numerosos niveles de areniscas con disposición laminar



y areniscas fosilíferas de color amarillento, con ciertos rastros de oxidación, con cemento de sericita, limolita y arcilla. Hacia la base el conglomerado muestra una matriz de arenas gris verdosas a oscuras. Se le asigna una edad Devoniano inferior – medio (Valencia & Chacaltana, 2000).

#### **4.1.1.3 MESOZOICO**

##### **4.1.1.3.1 Formación Chocolate (Ji-cho)**

Posee una secuencia de rocas volcánicas con intercalaciones clásticas. Constituida por lavas de composición andesíticas y dacíticas afaníticas y porfíricas en bancos de color gris verdosos y silicificación en ciertos niveles. Sus principales afloramientos son en la quebrada Linga y en los cerros Tres Puntas, Los Altos y Alto la Gloria (Valencia & Chacaltana, 2000). Posee una secuencia de más de 900 metros de rocas volcánicas compuestas de derrames andesíticos, basalto, traquita, tufos y aglomerados, con coloraciones rojo opaco y verde oscuro, conteniendo intercalaciones de lutitas, cuarcitas, calizas y calcáreos, se le asigna una edad Jurásico inferior (INGEMMET, 1963 y 1968 & Valencia & Chacaltana, 2000).

#### **4.1.1.4 JURÁSICO**

##### **4.1.1.4.1 Formación Guaneros (Js-gu)**

Presenta dos miembros uno inferior y otro superior, el miembro inferior consta de areniscas de color marrón a gris oscura, con presencia de fósiles y arcosas, andesitas gris oscuras porfíricas y en su base se hallan aglomerados, se le estima un espesor de 1500 metros (Valencia & Chacaltana, 2000)

El miembro superior consta de andesitas porfíricas con cristales de plagioclasas (fenos) y aglomerados volcánicos, presenta tonalidades de morado a gris oscuro, se le estima un espesor de 1200 metros. Sus principales afloramientos se dan en las cercanías de los cerros Cuero Viejo, Puerto Viejo, Águila, Negro e Higueras (Valencia & Chacaltana, 2000). Su edad se le asigna entre el jurásico medio y el jurásico superior, yace en discordancia angular a la formación Socosani e infrayace concordante al Grupo Yura (INGEMMET, 1963 y 1968).

##### **4.1.1.4.2 Grupo Yura (Jki-yu)**

El Grupo Yura aflora en el sector norte del área de estudio parte superior, en las cercanías del cerro Valenciana; compuesta por la Fm. Puente, Fm. Cachíos, Fm. Labra, Fm. Gramadal y Fm. Hualhuani. El Grupo Yura infrayace discordante a la formación Huaracane del Grupo Toquepala (Valencia & Chacaltana, 2000).



- **Formación Puente (Jm-pu):** constituida por grauwackas interestratificadas con niveles de limo-arcillitas, estas areniscas cuarzosas se llegan a intercalar con areniscas limosas, con tonalidades grises oscuras (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Formación Cachíos (Jm-ca):** presenta limo-arcillitas negras, con estratificaciones de algunos niveles de areniscas cuarzosas y arcillosas. Forma una faja continua a ambos lados del batolito de la Costa (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Formación Labra (Js-la):** consta de areniscas arcillosas, limoarcillitas de color negro con presencia de paleocanales y areniscas cuarzosas con estratificación oblicua; las areniscas cuarzosas presentan intercalaciones con limoarcillitas de tonos verdes a pardas rojizas, esto por su matriz base de epidota, cloritas, óxidos de hierro en presencia de feldespatos (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Formación Gramadal (Js-gr):** Calizas de tonalidad gris oscura en estratos silicificados. Se trata de calizas esparíticas con calcitas de turbio aspecto por la presencia de arcillas, muestra un bajo contenido de fósiles (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Formación Hualhuani (Ki-hu):** Constituida por blancas ortocuarcitas de grano fino a medio en estratos gruesos. Aflora únicamente a inmediaciones de la quebrada Linga donde muestra areniscas laminares (Valencia & Chacaltana, 2000).

#### **4.1.1.5 CRETÁCICO**

##### **4.1.1.5.1 Formación Matalaque (Ki-mat)**

Lavas andesíticas de matriz afanítica intercaladas con aglomerados andesíticos de coloración gris clara a verdosa con fenos de plagioclasas y cuarzo. Infrayace ligeramente discordante a la formación Huaracane, y se le asigna una edad Cretáceo Inferior (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### **4.1.1.5.2 Formación Huaracane (Miembro 1) (Ks-hua)**

Representa al Grupo Toquepala, presenta lavas de composición riolítica y piroclastos, las lavas muestran fenos de feldespatos y cuarzos, de tonos gris-purpura-verde. Por correlación se establece una edad Cretáceo superior (Valencia & Chacaltana, 2000).



#### **4.1.1.6 NEÓGENO**

##### **4.1.1.6.1 Formación Moquegua (Po-mo)**

Constituida por conglomerados polimícticos y de matriz arenosa de color amarillenta bien consolidada, areniscas y niveles tobáceos (Valencia & Chacaltana, 2000). Se constituye de dos miembros, el miembro inferior presenta arcillas arenosas, mientras que el miembro superior muestra conglomerados tufáceos; ambos miembros se hallan suavemente discordantes entre si (INGEMMET, 1963 y 1968). Suprayace discordante a la formación Huaracane e infrayace de igual forma a la formación Millo. Se le asigna una edad Oligocena-Pliocena (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### **4.1.1.6.2 Formación Millo (Np-mi)**

Conglomerados poligénicos angulosos - subangulosos poco consolidados con matriz tobácea, con presencia de intercalaciones tobáceas retrabajadas. Se le asume una edad Pliocena en base a sus relaciones estratigráficas (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### **4.1.1.6.3 Formación Añashuayco (Np-añ)**

Consta de tobas riolíticas y riolacitas de color blanquecino y en la base presencia de tobas de coloración rosada. Presenta gran abundancia de pequeños fragmentos de pómez y lavas, infrayace en discordancia angular a los depósitos marinos. Sus afloramientos no sobrepasan los 50 metros de espesor, se le asigna una edad Pliocena (INGEMMET, 1963 y 1968; Valencia & Chacaltana, 2000).

##### **4.1.1.6.4 Grupo Barroso (NQ-b/tand)**

Conformada por flujos andesíticos con disposición radial, en el área de estudio aflora una traquiandesita, únicamente en las cercanías del centro poblado La Laja, se le asigna una edad Plioceno-Pleistoceno (INGEMMET, 2017).

#### **4.1.1.7 CUATERNARIO**

##### **4.1.1.7.1 Depósitos Aluviales pleistocénica (Qp-al)**

Representada por gravas, arenas y evaporitas semiconsolidadas, muestra depósitos polimícticos de bloques, gravas, arenas, limos y niveles tobáceas con selección de retrabajo (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### **4.1.1.7.2 Depósitos Marinos (Q-ma)**

Consta de niveles de terrazas cubiertas parcialmente por material detrítico, litológicamente consta de arenas bien estratificadas de coloración gris a gris azulado con lentes de gravas y presencia de conchas marinas. Alcanza un espesor de 40 a 50 metros (INGEMMET, 1963).



#### 4.1.1.7.3 Depósitos Aluviales Holocénico (Qh-al)

Constituida por gravas y arenas inconsolidadas, son depósitos de gravas, arenas, limos y cenizas de selección variada, se hallan inmersos sedimentos de genética fluvial, llanura aluvial y conos aluviales (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### 4.1.1.7.1 Depósitos Fluviales (Q-fl)

Depósito de gravas, arenas y limos de selección variable producto del dinamismo fluvial de ríos de régimen regular, su mayor afloramiento se da en el sector sur del área de estudio en el Rio Tambo (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### 4.1.1.7.2 Depósitos Coluviales (Qh-cl)

Son depósitos monomícticos y sub angulosos de gravas y bloques con matriz arenosa y limosa, conforman pequeños conos aluviales (Valencia & Chacaltana, 2000).

##### 4.1.1.7.3 Depósitos Eólicos (Q-eo)

Arenas cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionadas, con un continuo dinamismo, se emplazan sobre dunas producto de la meteorización de rocas ígneas intrusivas y cenizas de la erupción del Huaynaputina de 1600 (Valencia & Chacaltana, 2000).

#### 4.1.1.8 ROCAS INTRUSIVAS

**Superunidad Yarabamba - granodiorita (KsP-bc/y-gd):** es de mayor exposición en el área de estudio, intruye a rocas intrusivas y al grupo Yura, se asocian cuerpos cuarzodioríticos de coloración gris con presencia de biotitas y anfíboles. Se data una edad de  $58.9 \pm 2$  Ma por K-Ar en biotita (Valencia & Chacaltana, 2000).

**Superunidad Linga:** Forma un gran cuerpo intrusivo con rumbo preponderante SE-NO (Valencia & Chacaltana, 2000).

- **Diorita (Ks-bc/l-di)**, asociadas a afloramientos de gabro y a los afloramientos presentes en el Grupo Yura, asociadas a granodioritas con maclas de plagioclasa y zondas y presencia de una estructura pertítica en feldespatos (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Monzodiorita (Ks-bc/l-mdi)**, conforma la mayor parte de rocas de la Superunidad Linga, varía entre monzodiorita y monzonita. Rocas de grano grueso con coloración grisácea oscura y en ocasiones negra, rosada en afloramientos intemperizados. Presencia de turmalina, reemplazamiento de piroxenos por uralita. Se data con una edad en 66.6 Ma por U-Pb, en circón (Valencia & Chacaltana, 2000).



- **Tonalita \_ Diorita Cuarzosa (Ks-bc/l-tn,dicz)**, aflora en Alto La Gloria donde se emplaza como un cuerpo subvolcánico de gran dimensión con rumbo SE-NO. Compuesta por tonalitas porfiríticas de coloración gris con manchas naranjas, plagioclasas zonadas y macladas, presenta anfiboles como fenos y con cuarzodioritas porfíricas (Valencia & Chacaltana, 2000).

**Superunidad Ilo:** se hallan distribuidos en 2 zonas:

- **Diorita (Ki-bc/i-di)**, roca de composición diorítica, con textura xenomórfica y presencia de hornblenda, con algunos cristales de augita, biotita y magnetita.
- **Monzogranito (Ki-bc/i-mgr)**, se encuentra en la quebrada Linga donde muestra un color grisáceo rosa de plagioclasas con macla y en ocasiones muestran zonamiento, presencia de fenos de anfíbol ligeramente alterados. Se le correlaciona una edad Cretáceo inferior con la Superunidad Ilo.

**Superunidad Punta Coles:** esta Superunidad intruye rocas del paleoproterozoico y se hallan cubiertas por material aluvial.

- **Granodiorita (Jim-bc/pc-gd)**, corta rocas metamórficas del paleoproterozoico, son rocas de color gris clara a oscura, muestran gran abundancia de hornblenda negra-verdosa; en ocasiones se observa una composición más granítica (Jim-bc/pc-gd,gr) (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Monzodiorita cuarzosa (Jim-bc/pc-mdcz)**, muestra una tonalidad gris con presencia de manchas pardas rojizas con intercrecimiento granofídico y micrográfico de feldespato s potásicos y cuarzos; también se muestran en afloramientos un intercrecimiento peritítico de albitas y feldespato potásico, se encuentran biotitas y xenolitos abundantes de rocas monzoníticas. La edad datada en muestras de roca es de  $170\pm 4$  Ma y  $189\pm 13$  Ma (Jurásico medio) en K-Ar en biotita (Valencia & Chacaltana, 2000).
- **Diorita (Jim-bc/pc-di)**, La roca en fractura fresca es de color gris oscuro a negro verdoso, holocristalina con textura granular xeromórfica, de grano grueso a medio, se reconocen plagioclasas, hornblenda, biotita escaza y ocasionalmente granos de ortosa (INGEMMET, 1963).

**Intrusivos Menores:**

**Granito de Tambo (KsP-ta-gr):** se emplaza en forma de cuerpos a los flancos de la Superunidad Linga, e intruye al Grupo. Yura. Entre sus afloramientos se observa un monzogranito grisáceo, en sus intersticios se encuentra turmalina radial. En inmediaciones del cerro Jahuay muestran tonos rosados y están en un contacto



transicional con el Grupo Yura. Se ha determinado una edad más reciente a las Superunidades Linga y Yarabamba en base a los contactos existentes (Valencia & Chacaltana, 2000).

**Complejo de Cerro Verde:** se trata de una serie de intrusiones múltiples de rocas porfíricas cuarzosas con asociación de brechas. Estos cuerpos ígneos han sufrido un metamorfismo al igual que la roca encajonante, sufriendo una intensa alteración.

- **Brecha de Cuarzo y Turmalina (P-bx,cz,tur)**, las brechas se hallan emplazadas en los alrededores de los cuerpos intrusivos porfíricos con un rumbo SE-NO. Estas brechas son formadas por una conjunta acción de procesos tectónicos e hidrotermales, asimismo estos tuvieron lugar en zonas altas de los yacimientos. Esta brecha en inmediaciones de cerro Verde se compone de fragmentos de granodiorita Yarabamba, fragmentos de gneiss, cuarzo en matriz microcristalina de turmalina, cuarzo, turmalina silíceas, cuarzo dumortierita y milonita mineralizada y alterada (Valencia & Chacaltana, 2000).

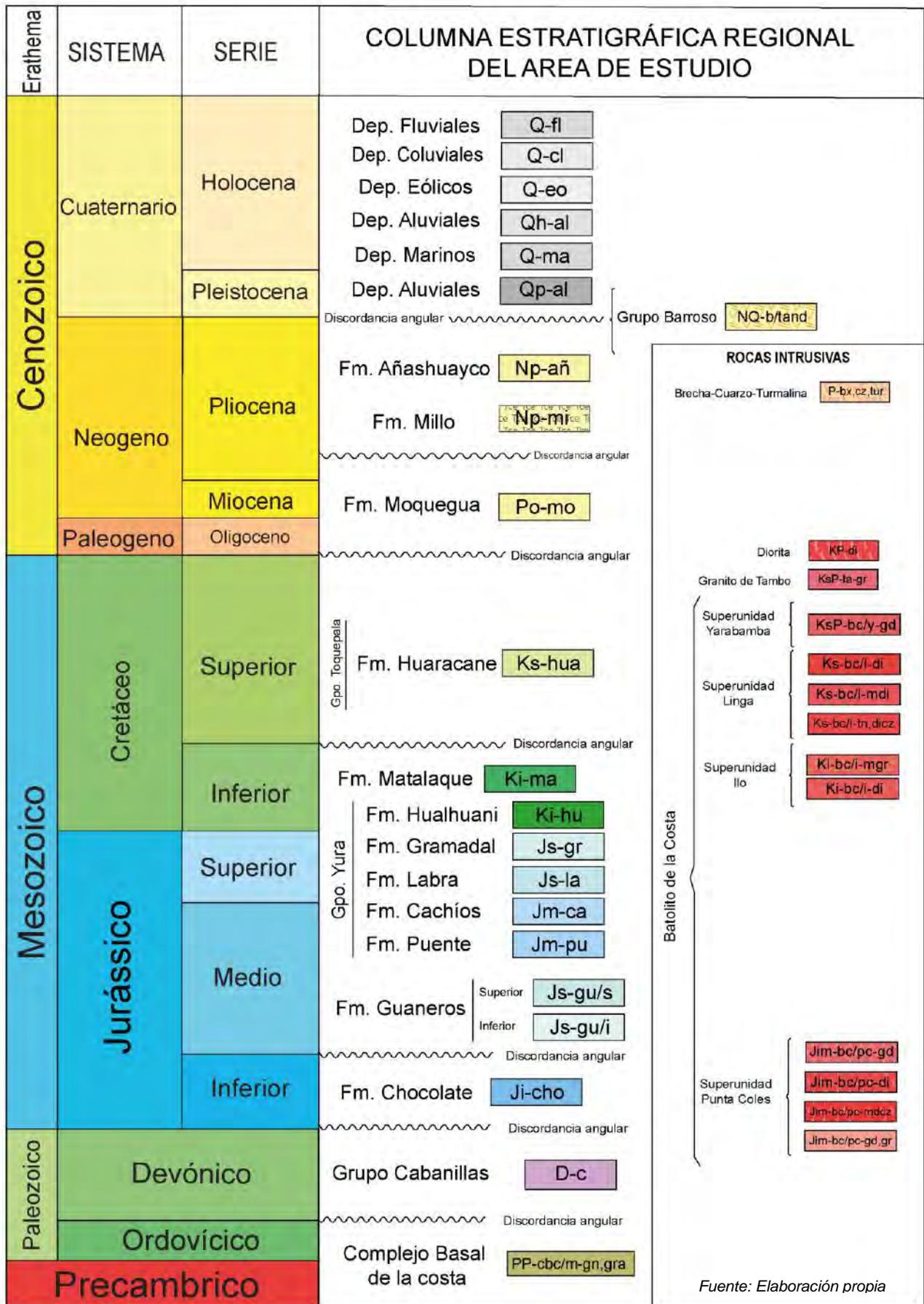


Figura 4.1. Columna estratigráfica del área de estudio, modificado de INGEMMET 1963-1968-1978.



## 4.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

### 4.2.1 GENERALIDADES:

La forma de la superficie terrestre, es producto de interacciones de agentes internos (fuerzas tectónicas) y externos (atmosfera, viento, radiación solar, etc.) así mismo los factores litológicos, factores tectónicos y factores erosivos que van modelando la superficie de la tierra (Gutiérrez Elorza, 2008).

### 4.2.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente el área de estudio que abarca a las subcuencas Bajo Tambo y Linga, abarcan una extensión de 1169.151 Km<sup>2</sup>, mencionada área se encuentra sobre las unidades geomorfológicas de la Faja Litoral, Cordillera de la Costa, Pampas costaneras y la Vertiente Oeste de la Cordillera Occidental (INGEMMET, 2020) (Figura 4.2).

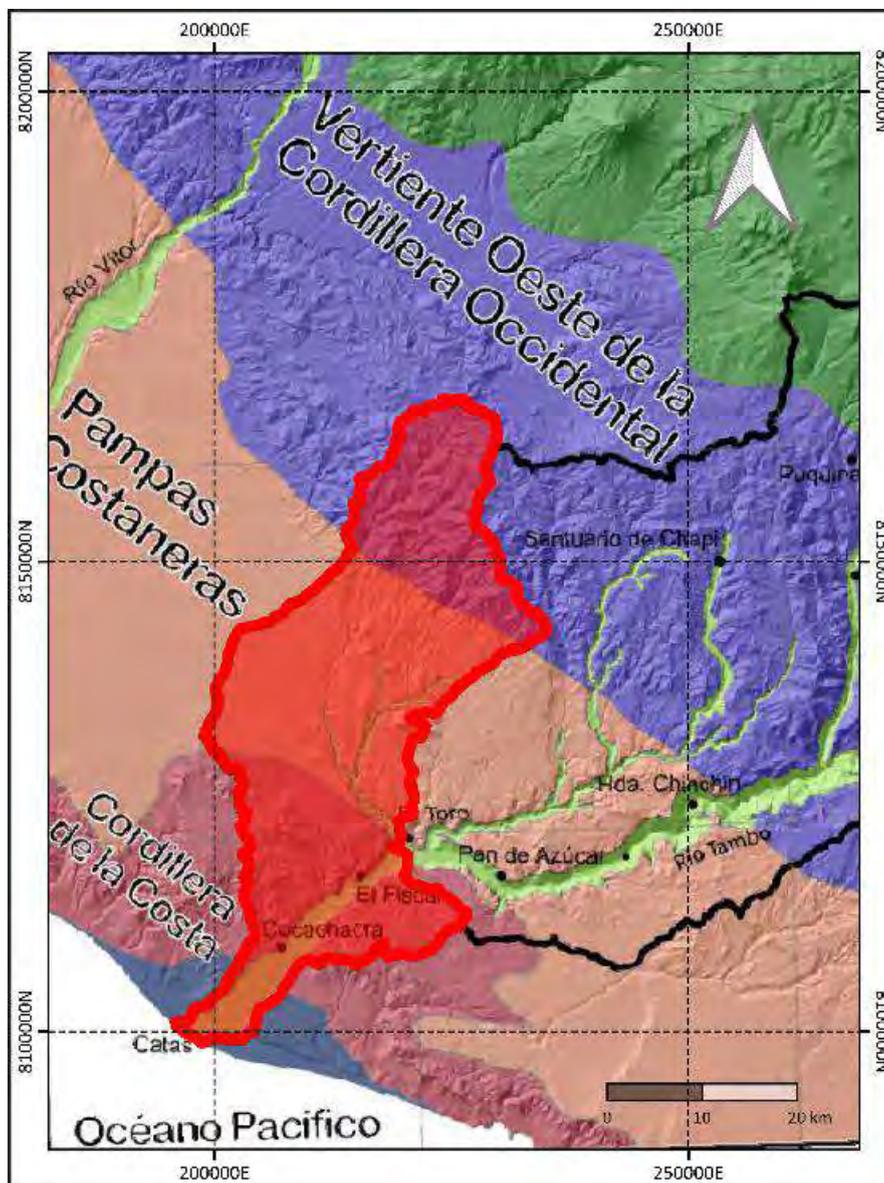


Figura 4.2. Geomorfología Regional (modificado de INGEMMET 2020).



La Faja Litoral comprende un relieve llano, su extensión va desde la línea de costa hasta los -200 m.s.n.m. Presenta un ancho máximo de 10 Km en la desembocadura de la Subcuenca Bajo Tambo, donde se ubican los poblados de La Curva, Punta de Bombón, Catas, etc. Esta unidad está compuesta por playas actuales y terrazas marinas jóvenes, en esta afloran materiales sedimentarios marinos y continentales. En esta Unidad se encuentran los depósitos de la Formación Camaná (INGEMMET, 2020). La Cordillera de la Costa está conformada por una cadena de montañas con bajas elevaciones que alcanzan como máximo los 1150 m.s.n.m. Posee una dirección paralela a la línea costera (noreste a sureste). Esta unidad geomorfológica muestra evidencia de rocas que datan entre 1800 Ma hasta 100 Ma. Las rocas que afloran en esta unidad geomorfológica son rocas metamórficas, rocas intrusivas, rocas volcánicas principalmente andesíticas y rocas sedimentarias. Es en esta unidad donde se encuentran los depósitos minerales de Tía María y La Tapada (INGEMMET, 2020).

Pampas costaneras o planicie costanera presenta un relieve llano a sub horizontal y de gran extensión. Presenta elevaciones que varían entre 650 a 1750 m.s.n.m. Limita en el suroeste, con la Cordillera de la Costa y al noreste con el borde oeste de la Cordillera Occidental. Es esta unidad geomorfológica se forman extensiones planas con suaves pendientes cortadas por los valles transversales. En estas pampas, sobre el basamento Jurásico-Cretácico, se depositan una serie de sedimentos pertenecientes a la Formación Huaylillas y Formación Millo (INGEMMET, 2020).

El Borde oeste de la Cordillera Occidental, comprende una cadena de montañas abruptas con orientación noroeste a sureste y presenta elevaciones desde los 1200 hasta los 4000 m.s.n.m. (INGEMMET, 2020).

#### **4.2.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL**

El área de estudio se ubica sobre las unidades geomorfológicas de Faja Litoral, Cordillera de la Costa, Pampas costaneras y la Vertiente Oeste de la Cordillera Occidental y localmente se reconocen unidades de menor categoría, así tenemos unidades de paisaje geomorfológico que representa una gran porción del terreno que está caracterizada por sus rasgos fisiográficos; corresponde a una repetición de tipos de relieve similares o a una asociación de tipos de relieves similares (Zinck, 2012).

Las unidades de paisaje geomorfológico reconocidos en el área de estudio son: Lomerío (Lo), Montaña (Mo), Peneplanicie (Pe), Piedemonte (Pi), Planicie (PI) y Valle (Va); las cuales representan el 44.11%, 26.3%, 17.5%, 1.53%, 5.05% y 5.51%



respectivamente. Y están distribuidas en el área de estudio tal y como muestra la Figura 4.3 (Anexo 10).

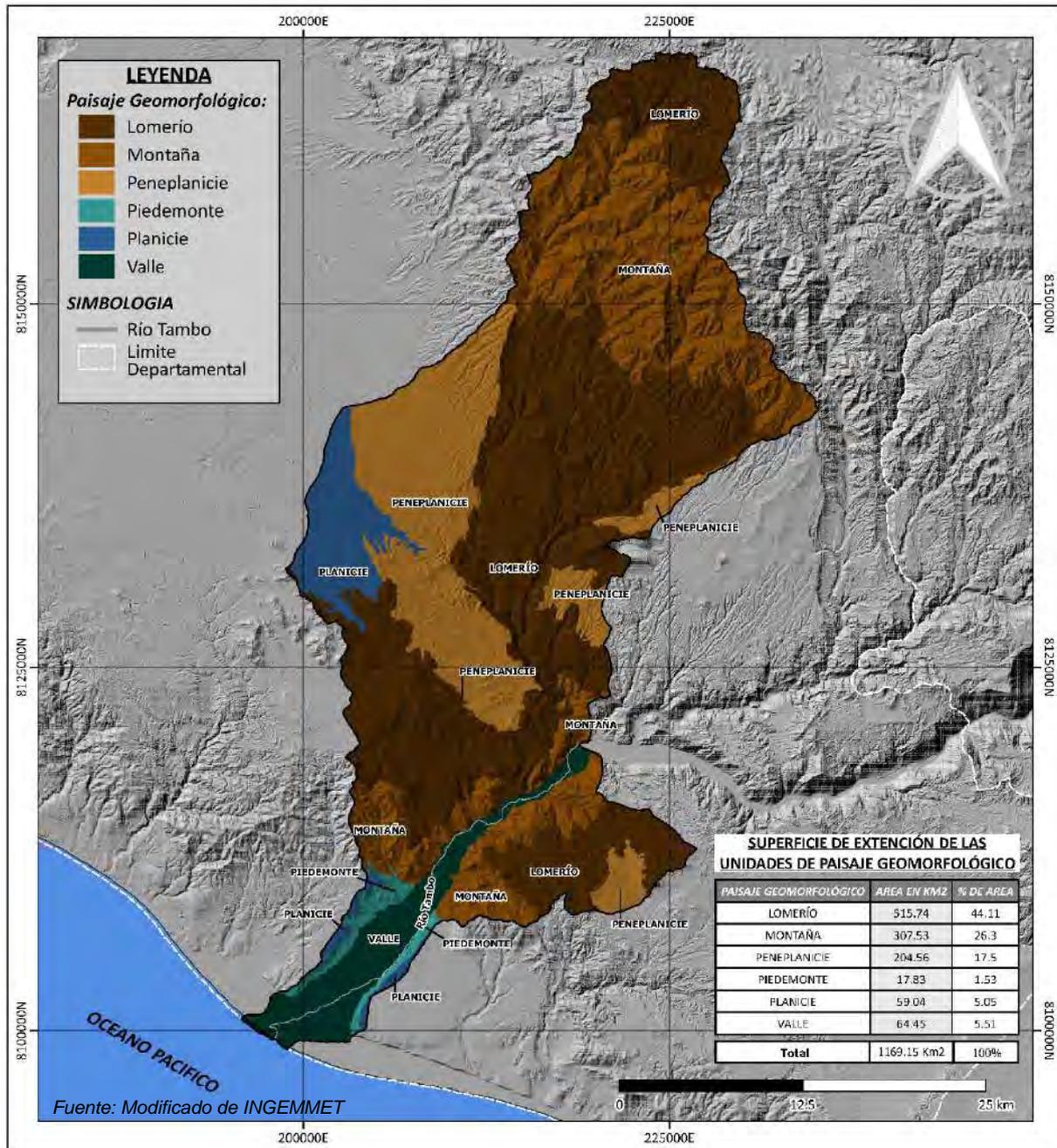


Figura 4.3. Unidades de Paisaje Geomorfológico del área de estudio.

#### 4.2.4 PAISAJE GEOMORFOLÓGICO Y RELIEVE MODELADO:

Localmente se reconocen unidades de menor categoría (relieve/modelado) (Anexo 11); a continuación, se manifiesta una breve descripción.

**Unidad de Lomerío (Lo):** porción de terreno quebrado, caracterizado por la repetición de geformas colinas, lomadas y vallecitos principalmente. Representa una extensión de 515.74 km<sup>2</sup> sobre el área de estudio que corresponde al 44.11 % del área total.



Dentro de esta unidad encontramos geoformas (Subunidades) de relieve modelado: colina, llanura, montaña, pedimento, terraza alta y vallecito, también se encuentra el relieve de centros poblados.

- **Subunidad Colina en zonas de Oxidación (Lo/C/A1):** Se encuentra localizado en las inmediaciones del cerro Santa Rosa donde aflora zonas de óxido y de arcilla, también se encuentran afloramientos en la parte superior del área de estudio al noroeste del cerro Los Cerrillos y se muestra sobre pendientes empinadas.



Foto 4.1. Afloramiento de óxidos y arcillas al noroeste del cerro Los Cerrillos.

- **Subunidad Colina en zona de Brechas de cuarzo y turmalina (Lo/C/B1):** Se encuentra en el sector norte parte alta del área de estudio en el cerro Bellavista con pendientes moderadamente empinadas (15-25%). Estas brechas son formadas producto de la acción conjunta de procesos tectónicos e hidrotermales.
- **Subunidad Colina en rocas Ígneas intrusivas félsicas (Lo/C/I1):** se encuentra en la parte alta, media y baja de la zona de estudio, representadas por granitos-monzogranitos (granito de Tambo-Jaguay) en la cercanía de los cerros Jahuay, Huanuco y El Mirador parte alta de la zona de estudio, en las cercanías de los cerros Lengua, Negro y Largo en la parte central del área de estudio, y en la parte baja aflora en cercanías del cerro Gordo, muestra relieves de pendiente empinadas (25-50%).



Foto 4.2. Afloramiento de Granito lado Norte del Cerro Huánuco.



- **Subunidad Colina en rocas ígneas intrusivas intermedias (Lo/C/I2):** se encuentra en 3 sitios en la parte central y norte del área de estudio en las cercanías del cerro Huánuco, del centro poblado Las Angosturas y el cerro Gordo donde se presenta en afloramientos de monzodiorita – monzonita, las cuales forman pendientes empinadas.
- **Subunidad Colina en tobas (Lo/C/I4):** se encuentra sobre la parte media del área de estudio en alrededores de los cerros Puerto Viejo y Las Tres Damas cubriendo laderas y cimas, que se encuentran sobre pendientes empinadas (25-50%). La litología característica de esta unidad geomorfológica estratigráficamente corresponden a la formación Añashuayco que está constituida por tobas riolíticas y riodacíticas con coloraciones blancas y rosadas.
- **Subunidad Colina en tobas y lavas (Lo/C/I5):** se encuentran en la parte media y alta del área de estudio en las cercanías de los cerros Del Tesoro y Águila, sobre pendientes moderadamente empinadas. La litología que aflora corresponde a lavas y tobas de composición riolítica y riodacítica.
- **Subunidad Colina en roca andesita, dacita y aglomerados (Lo/C/I6):** se encuentra en la parte media y baja del área de estudio en las cercanías de los cerros Tres Puntas, Gramadal, santa rosa y del centro poblado Cuesta la Gloria. Donde muestra afloramientos de andesitas, dacitas y aglomerados correspondiente estratigráficamente a la formación Chocolate (Volcánico Chocolate).
- **Subunidad Colina en roca metamórfica Gneis (Lo/C/M1):** Se encuentra en el margen oeste del área de estudio, en las inmediaciones de los cerros Escalera y Chilenos, y en las cercanías de Pampa de Linga. Estratigráficamente corresponde al complejo basal de la costa y presenta pendientes empinadas.
- **Subunidad Colina en arenisca cuarzosa (Lo/C/S1):** esta subunidad litológicamente corresponden a la formación Labra y a la formación Hualhuani, pertenecientes al Grupo Yura, constituidas por areniscas blancas a grises, aflora en las cercanías de los cerros Valenciana y al este del cerro Chilenos corresponde al Grupo Cabanillas, constituida por areniscas marrones; y se desarrolla sobre pendientes empinadas.
- **Subunidad Colina en arenisca, limolitas y lutitas (Lo/C/S2):** esta subunidad litológicamente está representada por afloramientos de areniscas, limolitas y lutitas. Se extiende en la parte media y alta del área de estudio, en la parte



media se ubica al sur del cerro Largo, donde litológicamente corresponde a la formación Chocolate en su nivel sedimentario. En la parte alta del área de estudio esta subunidad se ubica en las cercanías del cerro Valenciana, donde, litológicamente corresponde al Grupo Yura (Formación Cachios y Puente).

- **Subunidad Colina en areniscas, andesitas y aglomerados (Lo/C/V1):** Se extiende a lo largo de la zona central del área de estudio; en las cercanías de los cerros Negro, Higueras, Águila, Cuero Viejo y Santa Rosa. Litológicamente presenta areniscas fosilíferas y aglomerados volcánicos (Formación Guaneros) y de lavas andesíticas y dacíticas (Formación Chocolate).
- **Subunidad Colina en conglomerados y tobas (Lo/C/V2):** Esta subunidad muestra conglomerados polimícticos, limos y areniscas de la Formación Millo. Se extiende sobre la parte media y la parte alta del área de estudio.
- **Subunidad Llanura en tobas (Lo/LI/I4):** Se extiende en el sector medio del área de estudio al oeste del Cerro Negro; litológicamente muestra depósitos aluviales de conglomerados, arenas y limos, con presencia de cenizas y tobas (Formación Añashuayco).
- **Subunidad Montaña en zonas de oxidación (Lo/M/A1):** Se ubica al noreste del centro poblado Cuesta La Gloria, donde se observa afloramientos de óxidos y arcillas.



Foto 4.3. Afloramiento de Óxidos y arcillas.

- **Subunidad Montaña en rocas ígneas intrusivas félsicas (Lo/M/I1):** Se extiende sobre el cerro Los Tres. Se observa afloramientos de granodioritas de color gris claro a rosado, correspondiente a la Superunidad Yarabamba.
- **Subunidad Montaña en tobas (Lo/M/I4):** se ubica al sector Suroeste del centro poblado Las Angosturas, donde presenta afloramientos de tobas riolíticas de color blanco y rosado pertenecientes a la Formación Añashuayco.



- **Subunidad Montaña en roca andesita, dacita y aglomerados (Lo/M/I6):** Se encuentra en el sector noreste del área de estudio abarcando el cerro Curi Blanco, litológicamente presenta lavas andesíticas con matriz fina intercalado con aglomerados andesíticos (Formación Matalaque). También se identifica esta subunidad sobre el poblado Gramadal donde muestra presencia de lavas andesíticas perteneciente a la formación Chocolate.
- **Subunidad Montaña en areniscas, andesitas y aglomerados (Lo/M/V1):** Esta subunidad se ubica al oeste del cerro Los Tres, donde aflora areniscas fosilíferas arcósicas y aglomerados volcánicos pertenecientes a la formación Guaneros Miembro Inferior.
- **Subunidad Montaña en conglomerados y tobas (Lo/M/V2):** se extiende al sureste del centro poblado Gramadal, donde litológicamente muestra afloramientos de la formación Millo de conglomerados polimícticos con presencia de areniscas y limos.
- **Subunidad Pedimento en depósitos aluviales (Lo/P/D2):** mencionada subunidad se encuentra en la parte media y baja del área de estudio, en las cercanías de los centros poblados Buenos Aires y Piedra grande. conformada litológicamente de depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas; incluye material de conos aluviales.
- **Subunidad Pedimento en depósitos coluviales (Lo/P/D3):** su extensión es limitada y se ubica en la parte superior del área de estudio, al sur del cerro Curi Blanco. La litología dominante es de gravas, arenas y limos perteneciente a depósitos coluviales.
- **Subunidad Pedimento en conglomerados y tobas (Lo/P/V2):** litológicamente compuesta por afloramientos de la formación Millo de conglomerados polimícticos con presencia de areniscas y limos. Se extiende sobre Pampa Yamayo y al sur del cerro Puerto Viejo.
- **Subunidad Terraza Alta en conglomerados y tobas (Lo/TA/V2):** Se extiende limitadamente en el sector medio-bajo del área de estudio. La litología muestra conglomerados, areniscas y limos de la formación Millo.
- **Subunidad Vallecito en depósitos aluviales (Lo/V/D2):** Se extiende a lo largo del área de estudio sobre los flujos de aguas. Se compone por depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas.



**Unidad de Montaña (Mo):** representada por relieves montañosos, donde las formas del relieve están directamente ligadas al material litológico (rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas). En el área de estudio representa una extensión de 307.53 km<sup>2</sup> que corresponde al 26.3 % del área total. Dentro de esta unidad encontramos geoformas (Subunidades) de relieve modelado: colina, llanura, montaña, pedimento, terraza alta y vallecito.

- **Subunidad Colina en zonas de oxidación (Mo/C/A1):** se extiende al noroeste del cerro Los Cerrillos parte alta del área de estudio y al lado norte del cerro “Santa Rosa” parte inferior del área de estudio. Litológicamente se trata de zonas de arcillas y óxidos, se desarrolla en el contacto entre la Superunidad Linga y la Formación Huaracane (Grupo Toquepala).
- **Subunidad Colina en rocas igneas intrusivas intermedias (Mo/C/I2):** Se extiende a lo largo de la parte superior del área de estudio, en las cercanías de los cerros: Los Cerrillos, Cortaderal y Tambo Linga, y en las cercanías de los centros poblados: La Resbalosa y Linga. Litológicamente compuesta por afloramientos de monzodiorita y monzodiorita cuarcífera perteneciente a la Superunidad Linga.
- **Subunidad Colina en tobas (Mo/C/I4):** esta subunidad se extiende en las cercanías de los centros poblados Linga y Repartición de Linga. Litológicamente está constituida por tobas riolíticas y riodacíticas de la formación Añashuayco.
- **Subunidad Colina en tobas y lavas (Mo/C/I5):** conformada por rocas de la Superunidad Linga (monzodiorita) y de la formación Huaracane (Toba de cristales). Se extiende en la parte superior del área de estudio, en las inmediaciones del centro poblado Linga y de los cerros Los Cerrillos y Linga.
- **Subunidad Colina en roca andesita, dacita y aglomerados (Mo/C/I6):** su extensión se da de manera puntual en la parte superior del área de estudio al noreste del Cerro Las Tres Damas donde litológicamente se compone de andesitas de la formación Guaneros. En la Parte inferior de área de estudio también se encuentran afloramientos en las cercanías de Loma Chucarapi, centro poblado Pascana y al Noroeste del cerro Santa Rosa; donde, litológicamente está compuesta por lavas andesíticas y dacitas de la formación Chocolate.
- **Subunidad Colina en arenisca cuarzosa (Mo/C/S1):** se extiende en la cercanía del cerro Las Tres Damas parte superior del área de estudio, donde



está compuesta por una litología de areniscas cuarzosas blanquecinas de la formación Huallhuani (Grupo Yura). En la parte inferior del área de estudio se extiende en las proximidades del cerro Yamayo y del centro poblado Pampa Blanca, donde su litología muestra intercalaciones de areniscas y lutitas pertenecientes al grupo Cabanillas.

- **Subunidad Colina en roca calizas intercaladas con areniscas (Mo/C/S3):** su extensión es limitada y se halla en las cercanías del cerro Las Tres Damas, donde aflora intercalaciones de calizas grises de grano fino de la formación Gramadal (Grupo Yura).
- **Subunidad Colina en areniscas, andesitas y aglomerados (Mo/C/V1):** Presente en la parte baja del área de estudio en las cercanías de los centros poblados de Chucapari y Pampa Blanca, la litología presente es de andesitas de la formación Chocolate, intercalaciones de areniscas y lutitas micáceas del Grupo Cabanillas.
- **Subunidad Colina en conglomerados y tobas (Mo/C/V2):** Se encuentra al sur del área de estudio en las inmediaciones de los centros poblados de Chucapari y Pampa Blanca, y al norte del cerro Santa Rosa. La litología predominante son lavas de la formación Chocolate y conglomerados de la formación Millo.
- **Subunidad Montaña en zonas de oxidación (Mo/M/A1):** su extensión se da en la parte baja del área de estudio donde se encuentran zonas de óxidos y arcillas, estas se ubican en las cercanías del cerro Punta Negra.
- **Subunidad Montaña en rocas igneas intrusivas félsicas (Mo/M/I1):** se extiende en la parte baja del área de estudio en la margen derecha del río Tambo, en las cercanías de los centros poblados Piedra Grande y Buena Vista. La litología presente se trata de gneis del complejo Basal de la Costa y granodioritas de la Superunidad Punta Coles.
- **Subunidad Montaña en rocas igneas intrusivas intermedias (Mo/M/I2):** su extensión más amplia se encuentra en el sector norte del área de estudio, litológicamente compuesta por monzodioritas y mozodioritas cuarzosas de la Superunidad Linga; también se encuentra un afloramiento en la parte inferior del área de estudio al este del centro poblado Ventillata donde se encuentran granodioritas de la Superunidad Punta Coles.



- **Subunidad Montaña en tobas (Mo/M/I4):** Se extiende en la parte superior del área de estudio sobre tobas riolíticas de la formación Añashuayco, en las cercanías de los cerros Jaguay y Loma Larga.
- **Subunidad Montaña en tobas y lavas (Mo/M/I5):** subunidad conformada por tobas de cristales subredondeadas en una matriz arenosa tobácea de composición andesita a dacita de la formación Huaracane (Grupo Toquepala). Se extiende en la parte alta del área de estudio al sur del cerro Curi Blanco.
- **Subunidad Montaña en roca andesita, dacita y aglomerados (Mo/M/I6):** se extiende en la parte superior con una limitada extensión al noroeste y sureste del cerro Curi Blanco, donde la litología muestra lavas andesíticas de la formación Matalaque. En la parte inferior del área de estudio se extiende sobre el cerro Caraquen donde aflora una litología de lavas andesíticas y dacíticas de la formación Chocolate.
- **Subunidad Montaña en roca Gneis (Mo/M/M1):** se extiende al oeste del cerro Yamayo, donde aflora una litología metamórfica de roca gneis perteneciente al Complejo Basal de la Costa – Mollendo.
- **Subunidad Montaña en areniscas cuarzosas (Mo/M/S1):** se extiende hacia el suroeste del centro poblado El Fiscal, margen derecha del río Tambo, donde su litología está compuesta por areniscas del Grupo Cabanillas.
- **Subunidad Montaña en Areniscas, limolitas y lutitas (Mo/M/S2):** se extiende en la margen izquierda del río Tambo parte baja del área de estudio, hacia el noroeste del cerro Buenos Aires, donde la litología principal es de areniscas y lutitas intercaladas del Grupo Cabanillas.
- **Subunidad Montaña en areniscas, andesitas y aglomerados (Mo/M/V1):** se extiende en la parte inferior del área de estudio, en el margen izquierdo del río Tambo, donde presenta una litología de lavas andesíticas y dacíticas en bancos gruesos de la formación Chocolate.
- **Subunidad Montaña en conglomerados y tobas (Mo/M/V2):** la litología de esta subunidad está conformada por tobas y conglomerados polimícticos con areniscas y limos pertenecientes a la formación Millo. Su extensión es hacia el noreste del centro poblado La Ayanquera.
- **Subunidad Meseta en tobas (Mo/ME/I4):** se extiende sobre el área media del área de estudio, la litología predominante es de tobas riolíticas de la Formación



Añashuayco, su extensión es cercana al centro poblado Cuesta la Gloria.

- **Subunidad Meseta en conglomerados y tobas (Mo/ME/V2):** su extensión es limitada en área de estudio, se encuentra ubicada en la parte media del área de estudio al norte del centro poblado Desamparados. La litología predominante es de conglomerados polimícticos con presencia de areniscas y limos pertenecientes a la formación Millo.
- **Subunidad Pedimento en gravas, arenas, limos y arcillas (Mo/P/D2):** esta subunidad se desarrolla en depósitos fluviales de gravas y arenas, en matriz limo arenosa. Su extensión se da en ambos márgenes del río Tambo, en la cercanía del centro poblado El Fiscal.
- **Subunidad Terraza Alta en conglomerados y tobas (Mo/TA/V2):** se extiende al margen izquierdo del río Tambo en las inmediaciones de centro poblado Caraquen. La litología presente en esta área es de tobas y presencia de gravas.
- **Subunidad Vallecito en gravas, arenas, limos y arcillas (Mo/V/D2):** se extiende en la parte superior y media del área de estudio en los fondos de valle, donde la litología corresponde a gravas y arenas mal seleccionadas de depósitos aluviales.

**Unidad de Peneplanicie (Pe):** representa superficies ligeramente ondulados, el cual presenta geoformas de colinas y lomas, se forma por disección de una planicie o altiplanicie, o por erosión. Representa una extensión de 204.56 km<sup>2</sup> sobre el área de estudio que corresponde al 17.5 % del área total.

- **Subunidad Colina en gravas, arenas, limos y arcillas (Pe/C/D2):** se extiende al norte del área de estudio en un área limitada, al sur del centro poblado Alto del Crucero; la litología presente corresponde a depósitos aluviales, se observa clastos polimícticos en matriz de arena y limo.
- **Subunidad Colina en arenas (Pe/C/D4):** su extensión es limitada en la parte media del área de estudio, al sur de Pampa el Fiscal. La litología predominante son arenas bien seleccionadas y redondeadas pertenecientes a dunas de depósitos eólicos.
- **Subunidad Colina en rocas Ígneas intrusivas félsicas (Pe/C/I1):** se extiende sobre la región media del área de estudio al sur del centro poblado Alto La Gloria. La litología presente es de tonalitas porfiríticas y dioritas con cuarzo de la Superunidad Linga.



- **Subunidad Colina en rocas igneas intrusivas intermedias (Pe/C/I2):** se extiende en el sector medio en inmediaciones de Pampa Linga y en la parte baja del área de estudio en las inmediaciones de Pampa colorada, sobre estas áreas afloran rocas de monzodioritas cuarcíferas de la Superunidad Punta Coles.
- **Subunidad Colina en tobas (Pe/C/I4):** esta subunidad se extiende en las inmediaciones del centro poblado Cuesta La Gloria, donde se desarrolla una litología de tobas riolíticas perteneciente a la formación Añashuayco.
- **Subunidad Colina en roca andesita, dacita y aglomerados (Pe/C/I6):** se extiende al oeste del centro poblado Cuesta La Gloria, donde muestra una litología de lavas andesíticas y dacíticas propias de la formación Chocolate.
- **Subunidad Colina en roca Gneis (Pe/C/M1):** se extiende en las inmediaciones de Pampa Linga y Cerro Largo, sector medio del área de estudio; la litología presente es de roca gneis del Complejo Basal de la Costa.
- **Subunidad Colina en areniscas, andesitas y aglomerados (Pe/C/V1):** la litología presente en esta unidad es de lavas andesíticas de la formación chocolate, su extensión se da en la parte baja del área de estudio en las inmediaciones de Pampa Colorada.
- **Subunidad Colina en conglomerados y tobas (Pe/C/V2):** se extiende a lo largo del sector medio y alto del área de estudio, esta subunidad presenta litologías de conglomerados y areniscas tobáceas propias de la formación Moquegua, y conglomerados polimícticos en matriz limosa y arenosa de la formación Millo.
- **Subunidad Llanura en gravas, arenas, limos y arcillas (Pe/LL/D2):** esta subunidad se extiende en las inmediaciones de pampa colorada donde la litología presente es de depósitos aluviales, conformados por gravas y arenas mal seleccionadas. Alrededor de Pampa el Fiscal se encuentra conglomerados, arenas y limos de depósitos aluviales.
- **Subunidad Llanura en arenas (Pe/LL/D4):** se extiende al norte de Pampa el Fiscal, sobre la cual se desarrollan depósitos eólicos con litologías de arenas cuarzosas bien seleccionadas.
- **Subunidad Montaña en tobas (Pe/M/I4):** se extiende al norte centro poblado Cuesta la Gloria, sobre áreas delgadas con dirección noroeste a sureste; la litología presente es de tobas riolíticas de la formación Añashuayco.



- **Subunidad Meseta en tobas (Pe/ME/I4):** se extiende sobre relieves de mesetas en las inmediaciones del centro poblado Cuesta la Gloria, la litología presente es de tobas riolíticas de la formación Añashuayco.
- **Subunidad Pedimento en gravas, arenas, limos y arcillas (Pe/P/D2):** se extiende a lo largo del sector medio del área de estudio en las inmediaciones del cerro Cuero Viejo y del Cerro Largo. La litología presente es propia de depósitos aluviales, se trata de conglomerados, arenas y limos.
- **Subunidad Vallecito en gravas, arenas, limos y arcillas (Pe/V/D2):** se desarrolla sobre las inmediaciones de Pampa Linga y el centro poblado Alto la Gloria, donde se manifiesta una litología de gravas y arenas mal seleccionadas en una matriz limo arenosa.

**Unidad de Piedemonte (Pi):** caracterizada por superficies inclinadas al pie de unidades geomorfológicas más elevadas tales como altiplanicie, montaña y lomerío, y está formado por una asociación heterogénea de relieves. Representa una extensión de 17.83 km<sup>2</sup> sobre el área de estudio que corresponde al 1.53 % del área total.

- **Subunidad Colina en roca Gneis (Pi/C/M1):** se extiende en la parte baja del área de estudio en la margen derecha del río Tambo en las inmediaciones del centro poblado de Cocachacra, la litología sobre la que se desarrolla esta subunidad es de roca gneis del Complejo Basal de la Costa – Mollendo.
- **Subunidad Colina en areniscas cuarzosas (Pi/C/S1):** al igual que la subunidad mencionada líneas arriba esta se extiende en la parte baja del área de estudio en la margen derecha del río Tambo en las inmediaciones del centro poblado de Cocachacra, la litología sobre la que se desarrolla esta subunidad es de areniscas cuarzosas del grupo Cabanillas.
- **Subunidad Colina en conglomerados y tobas (Pi/C/V2):** esta subunidad se extiende en la parte baja del área de estudio en ambos márgenes del río Tambo en donde la litología presente es de Conglomerados, areniscas tobáceas y limonitas de la formación Moquegua.
- **Subunidad Pedimento en gravas, arenas, limos y arcillas (Pi/P/D2):** se extiende en las cercanías del centro poblado La Laja, al margen derecho del río Tambo. Sobre esta subunidad se encuentra una litología de depósitos aluviales, que presentan gravas y arenas mal seleccionadas.



- **Subunidad Terra baja en conglomerados y tobas (Pi/TA/V2):** esta subunidad se extiende en inmediaciones de los centros poblados Veracruz Chica y Unión Progresista. Se encuentra en la parte baja del área de estudio, donde la litología presente es de areniscas tobáceas y conglomerados de la formación Moquegua.

**Unidad de Planicie (PI):** Porción de terreno plana no confinada de posición baja con pendientes suaves (generalmente menor a 3%). Representa una extensión de 59.04 km<sup>2</sup> sobre el área de estudio que corresponde al 5.05 % del área total.

- **Subunidad Colina en rocas ígneas intrusivas intermedias (PI/C/I2):** se extiende en alrededores de Pampa Confital, en el sector medio del área de estudio; donde, se muestra una litología de monzodioritas cuarzosas de la Superunidad Punta Coles.
- **Subunidad Colina en conglomerados y tobas (PI/C/V2):** de extensión limitada en el sector medio del área de estudio en las cercanías de Pampa Confital. La litología presente es de conglomerados con limos y areniscas propios de la formación Millo.
- **Subunidad Llanura en arenas (PI/LL/D4):** de extensión limitada sobre el sector medio del área de estudio, sobre esta subunidad se desarrolla depósitos eólicos con litologías de arenas.
- **Subunidad Llanura en conglomerados y tobas (PI/LL/V2):** se extiende en el sector medio del área de estudio en inmediaciones de Pampa Confital donde muestra una litología de conglomerados, arenas y tobas. También se presenta en el sector bajo del área de estudio al noreste del centro poblado punta de Bombom,
- **Subunidad Pedimento en conglomerados y tobas (PI/P/V2):** se extiende en el sector bajo del área de estudio al margen derecho del río tambo en cercanías del centro poblado Cocachacra. Esta subunidad muestra conglomerados y areniscas de la formación Millo con presencia de tobas en superficie.

**Unidad de Valle (Va):** representa superficies alargadas y planas, que se encuentran entre dos zonas de paisaje geomorfológico más altos tales como montaña, lomerío, altiplanicie y piedemonte. Para su identificación se debe tener un sistema de terraceo que representa por lo menos llanuras de inundación y terrazas bajas. Representa una extensión de 64.45 km<sup>2</sup> sobre el área de estudio que corresponde al 5.51 % del área total.



- **Subunidad Albufera en (Va/A/D9):** esta subunidad se encuentra cercana a la desembocadura del río Tambo, donde litológicamente se muestra gravas y conglomerados en matriz arenosa propio de depósitos marinos.
- **Subunidad Cauce actual en (Va/CA/D1):** se extiende a lo largo del cauce actual del río Tambo, donde la litología presente corresponde a depósitos fluviales (gravas, arenas, limos y arcillas).
- **Subunidad Cordón litoral en (Va/CL/D6):** se extiende en la desembocadura del río Tambo, donde encontramos litología de arenas propio de cordón litoral.
- **Subunidad Llanura de inundación en (Va/LI/D1):** Se extiende en la parte baja del área de estudio en ambas márgenes del río Tambo, la litología de esta subunidad es de arenas, limos y arcillas.
- **Subunidad Terraza baja en (Va/TB/D1):** Se extiende a lo largo de valle del río Tambo en la parte baja del área de estudio, se observa en su litología gravas redondeadas en matriz arenosa, niveles de arenas limos y arcillas; sobre esta se desarrollan áreas de cultivo.
- **Subunidad Terraza media en (Va/TM/D1):** Se extiende a lo largo de valle del río Tambo en la parte baja del área de estudio, en su litología se encuentra gravas redondeadas en matriz arenosa, niveles de arenas limos y arcillas.



Fuente: INGEMMET

Foto 4.4. Depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas en el Valle del Tambo, en las inmediaciones del centro poblado La Pascana.



## CAPITULO V

### CONTEXTO DE USO DEL SUELO

#### 5.1 GENERALIDADES

En el área de estudio los suelos cumplen un papel de gran importancia, entre esas funciones tenemos suelos con capacidad de producción agrícola (uso agrícola) sobre los que se desarrollan cultivos en el fondo de valle del río Tambo, suelos con propiedades extractivas de recursos minerales (uso industrial) sobre ellas se consideran zonas de oxidación y suelos que son base para la edificación y medio de transportes (uso residencial) sobre los que se desarrollan los centros poblados (Figura 5.1).

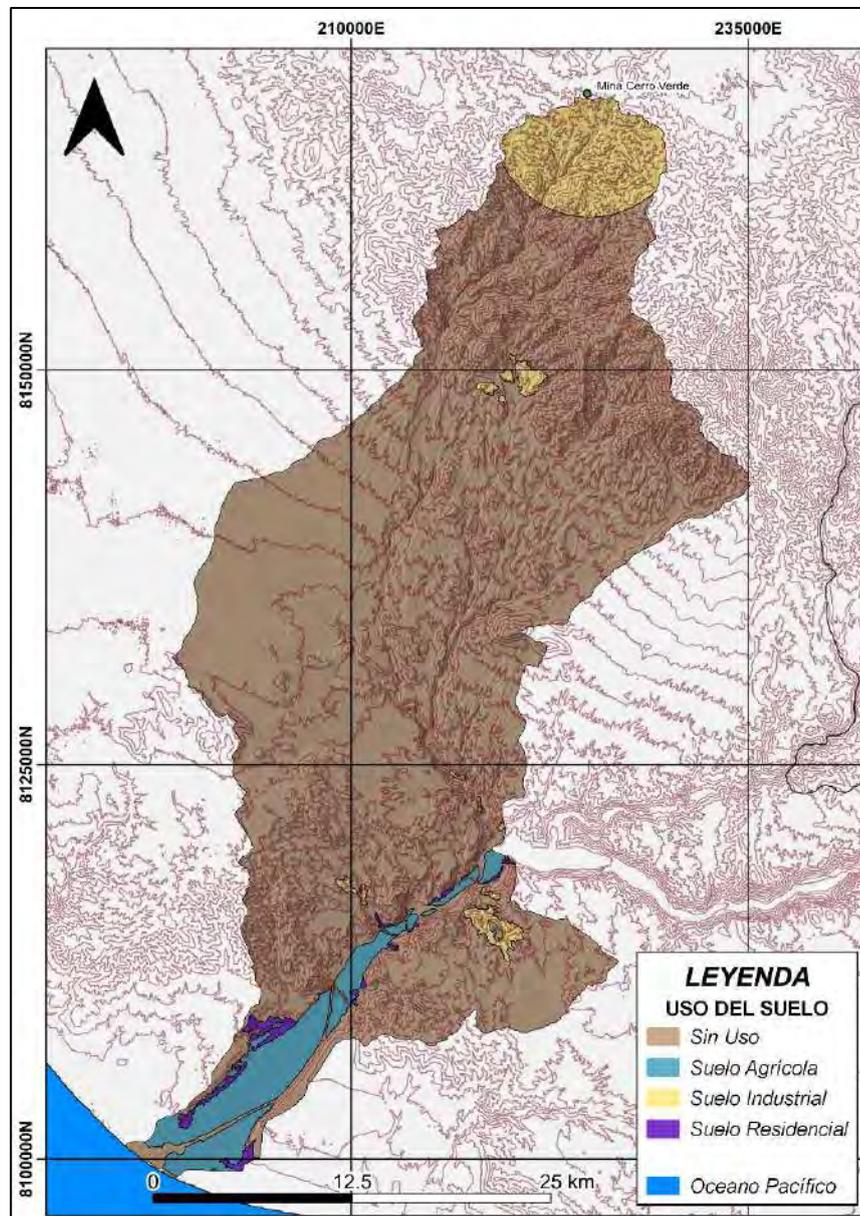


Figura 5.1 Mapa de uso del suelo presentes en el área de estudio.

Fuente: Elaboración Propia



Los tipos de suelos que se tienen en el área de estudio (Figura 5.2) con capacidad agrícola son Leptosol, Regosol, Umbrisol y Solonchak. En suelos con capacidad extractiva (uso industrial) y residencial se tiene suelos de tipo Fluviosol, Leptosol, Regosol y Solonchak. A lo largo del área de estudio en los suelos sin uso ni manejo, se tiene suelos de tipo Arenosol, Cambisol, Fluviosol, Kastanozem, Leptosol, Regosol, Solonchak y Stagnosol.

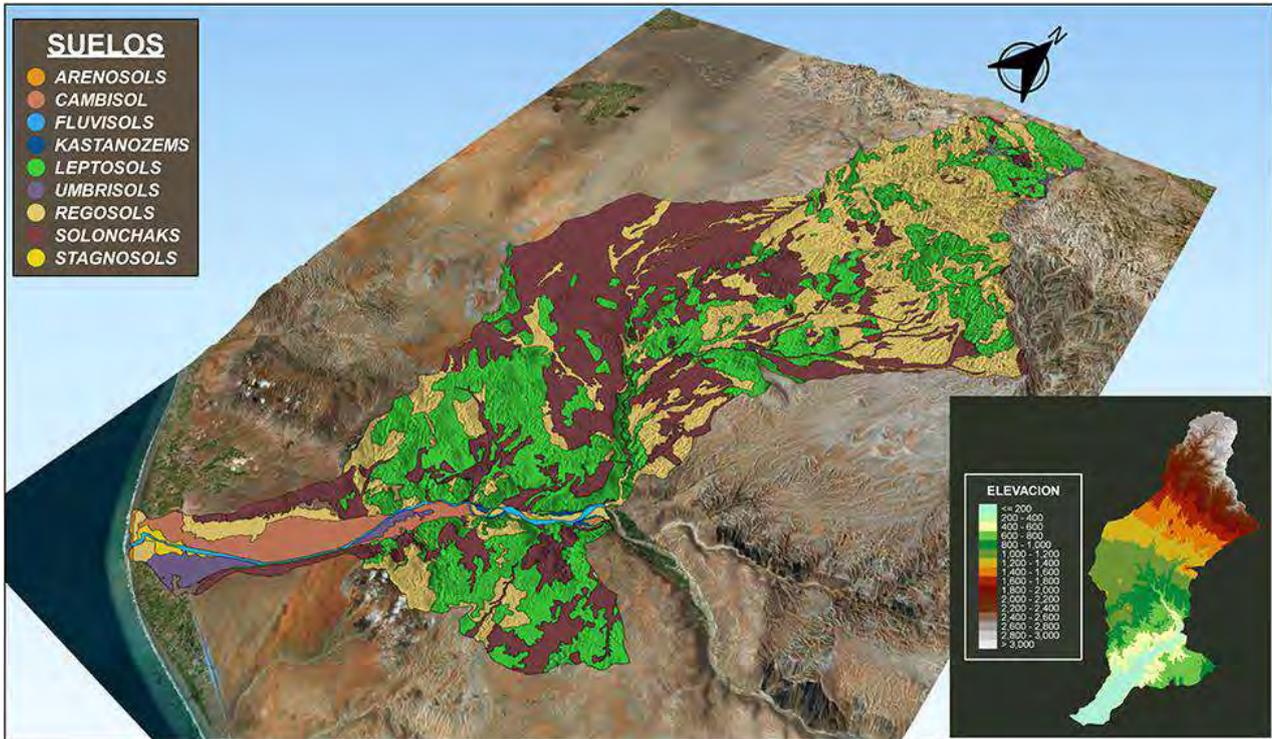


Figura 5.2 Mapa 3D de suelos presentes en el área de estudio con rotación N43E, en la parte inferior derecha se observa un mapa de elevación.

## 5.2 TIPOS DE SUELOS

Los suelos presentan características y espesores de desarrollos diferentes. En la tabla 5.1 se observa la extensión que cubre cada tipo de suelo en la región de estudio. A continuación, se realiza una descripción de los tipos de suelos presentes en el área de estudio.

TIPOS DE SUELOS	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
SOLONCHAKS	38633.48	33.23
REGOSOLS	37044.14	31.87
LEPTOSOLS	35038.66	30.14
CAMBISOLS	3130.17	2.69
UMBRISOLS	1312.71	1.13
FLUVISOLS	591.36	0.51
STAGNOSOLS	300.28	0.26
KASTANOZEMS	134.46	0.12
ARENOSOLS	62.96	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.1. Extensión que cubre cada tipo de suelo en hectáreas y su equivalente en porcentaje.



- **Solonchaks:** estos suelos ocupan un área de 38633.48 Ha en la región de estudio, se extienden en toda el área de estudio y en mayor presencia en la parte media, estos suelos presentaron las siguientes características de campo, una textura compuesta por arenas, arenas limosas, limos y fragmentos rocosos de grava fina a media, presenta coloraciones grisáceas, pardas y en algunos casos blancas, drenaje bueno, de pH muy fuertemente ácido a fuertemente alcalino (4.70 – 8.51), permeabilidad moderada a muy rápida. Desde un punto de vista geotécnico son suelos de estructura inestable poco estables, son propensos a la erosión y al agrietamiento. Este tipo de suelos se identificaron en ciertas áreas que conforman los suelos de uso Residencial, por lo cual se debe tener cuidado, porque pueden presentar problemas de estabilidad y asentamientos (Foto 5.1).

*Foto 5.1. Perfil de suelo Solonchak, suelo arenoso, con mucha presencia de fragmentos (grava fina a gruesa) y presencia de sales.*



- **Regosols:** ocupan un área de 37044.14 Ha y están presentes en toda la región de estudio, son suelos compuestos a partir de materiales aluviales, coluviales, coluvio-aluviales resultados de depósitos reciente de roca y en algunas zonas presencia de material tobáceo. Los suelos Regosols (Foto 5.2) presentaron las siguientes características de campo, una textura compuesta por arenas, arenas limosas, limos y fragmentos rocosos de grava fina a gruesa, y en ocasiones cantos, presenta coloraciones grisáceas y pardas, drenaje bueno, Son suelos de pH muy fuertemente ácido a moderadamente alcalino (4.53 – 8.25), estos suelos se clasifican como granulares en los horizontes descritos en campo (GW, GP, SW, SP) (SUCS), de textura media a gruesa; en situ presentan un drenaje bueno y permeabilidad rápida. Estos suelos se encuentran presentes en la parte inferior del área de estudio, donde, se desarrollan zonas de cultivos.



Geotécnicamente son suelos poco estables, de baja resistencia a la compresión y baja cohesión. Son propensos a ser erosionados.

*Foto 5.2. Perfil de suelo Regosol, suelo franco limosos con presencia de fragmentos (grava gruesa), con permeabilidad rápida y drenaje bueno.*



- **Leptosols:** ocupan un área de 35038.66 Ha en la región de estudio, se desarrollan a lo largo de la zona de montañas. Los suelos Leptosols (Foto 5.3) presentaron las siguientes características de campo, una textura compuesta por arenas, arenas limosas y fragmentos rocosos de grava fina a gruesa, y en ocasiones cantos, presenta coloraciones pardas, gris y rosadas en algunos casos, drenaje bueno, permeabilidad moderada a muy rápida, son suelos pocos desarrollados, de espesor reducido (SUCS) que se desarrollan sobre roca y presentan abundancia de fragmentos rocosos, pH muy ácido a moderadamente alcalino (4.41 – 8.39). Estos suelos son poco estables, son propensos a la erosión y el movimiento de masas, Los suelos Leptosols pueden presentar problemas de estabilidad y asentamientos.

*Foto 5.3. Perfil de suelo Leptosol, suelo franco limosos con presencia abundante de fragmentos (grava gruesa), con permeabilidad rápida y drenaje bueno.*





- **Cambisols:** estos suelos ocupan un área de 3130.17 Ha en la región de estudio, se desarrollan sobre depósitos fluviales en zonas de terrazas. Los suelos Cambisols (Foto 5.4) presentaron las siguientes características de campo, una textura franco arenosa generalmente (FY) y fragmentos rocosos de grava fina a gruesa, presenta coloraciones pardas, drenaje bueno, permeabilidad moderada a muy rápida, estos suelos son de textura media, poseen un pH neutro a ligeramente alcalino (7 – 7.81), drenaje moderado a bueno y permeabilidad lenta y en algunos rápida, los suelos Cambisols son considerados como suelos moderadamente estables, sin embargo, pueden llegar a ser propensos a la erosión, en zonas de pendientes elevadas, como es el caso en la zona de piedemonte de la parte inferior del área de estudio.

*Foto 5.4. Perfil de suelo Cambisol, el presente perfil muestra horizontes franco arenosos a franco arcillosos, con drenaje y permeabilidad moderada.*



- **Umbrisols:** estos suelos ocupan un área de 1312.71 Ha en la región de estudio. Los suelos Umbrisols (Foto 5.5) presentaron las siguientes características de campo, una textura franco arcillosa generalmente (FA) y en casos puntuales de las muestras presento fragmentos de roca de grava fina a media, presenta coloraciones pardas grisáceas, drenaje bueno, permeabilidad moderada a muy rápida, estos suelos son de textura media, poseen un pH ligeramente ácido a moderadamente alcalino (6.27 – 7.97). Los suelos Umbrisols son considerados como suelos moderadamente estables, propensos a la erosión, en zonas de pendientes elevadas, sensibles a la compactación, lo cual puede reducir la permeabilidad y el drenaje, son suelos importantes para el desarrollo de la agricultura, bastos en nutrientes, muy sensibles a la degradación y presentan materia orgánica en su nivel más superficial de suelo.



*Foto 5.5. Perfil de suelo Umbrisol, el presente perfil muestra horizontes francos arcillo arenosos a franco arcillosos, con drenaje bueno, permeabilidad moderada y presencia de materia orgánica en la capa superficial.*



- **Fluvisols:** estos suelos ocupan un área de 591.36 Ha en la región de estudio, ocupan la parte sur del área de estudio a partir de materiales fluviales depositados en el río Tambo. Los suelos Fluvisols (Foto 5.6) presentaron las siguientes características de campo, una textura Arenosa generalmente, presenta coloraciones gri parduzca a gris, drenaje bueno, permeabilidad moderada a muy rápida, poseen un pH moderadamente alcalino (8.04). Los Fluvisols son suelos moderadamente estables, sin embargo, pueden verse afectados por la erosión. Sobre ella se desarrollan actividades agrícolas.

*Foto 5.6. Perfil de suelo Fluvisol, próximo al río Tambo, el primer nivel de 0 a 40 cm muestra un horizonte arenoso de color gris pardo, desarrollo de raíces, permeabilidad baja y en contacto irregular con respecto al horizonte inferior arenoso con presencia de fragmentos (grava).*





- **Stagnosols:** estos suelos ocupan un área de 300.28 Ha en la región de estudio, se desarrolla en la parte baja del área de estudio en zonas de terraza baja. Los suelos Stagnosols (Foto 5.7) presentaron las siguientes características de campo, una textura de arena, limo y arcilla (Y), presenta coloraciones pardas grisáceas, drenaje moderado, permeabilidad muy lenta, poseen un pH moderadamente alcalino (8.04). Los Stagnosols son suelos que se forman sobre altos niveles de agua subterránea, son inestables, propensos a erosionarse y a la compactación, pueden ser usados para agricultura, silvicultura y desarrollo urbano.

*Foto 5.7. Perfil de suelo Stagnosol, el presente perfil muestra horizontes arcillosos arenosos, con coloraciones pardas, con drenaje moderado, permeabilidad moderada, presencia de raíces y presencia de napa freática a los 85 cm.*



- **Kastanozems:** estos suelos ocupan un área de 134.46 Ha en la región de estudio. Los suelos Kastanozems (Foto 5.8) presentaron las siguientes características de campo, una textura Franco arcillosa y fragmentos de roca de grava gruesa en algunos perfiles, presenta coloraciones pardas grisáceo oscuras, drenaje bueno, permeabilidad lenta, poseen un pH neutro (7.21 -7.25). Los Kastanozems presentan una extensión limitada sobre depósitos fluviales, sobre ella se desarrollan cultivos. Son suelos moderadamente estables, propensos a erosionarse, sensibles a la compactación, de relevancia par suelos agrícolas, son ricos en nutrientes, con buena capacidad de retención de agua y necesitan una buena gestión sostenible.



Foto 5.8. Perfil de suelo Kastanozem, el presente perfil muestra horizontes franco arcillosos arenosos, con drenaje bueno y permeabilidad lenta.



- **Arenosols:** estos suelos ocupan un área de 62.96 Ha en la región de estudio. Los suelos Arenosols (Foto 5.9) presentaron las siguientes características de campo, una textura media entre arena, limo y arcilla, presenta coloraciones gris oscuras, drenaje bueno, permeabilidad muy rápida, poseen un pH ligeramente alcalino (7.77). Los Arenosols se desarrollan sobre arenas del cordón litoral en la parte baja del área de estudio, son suelos poco estables, propensos a la erosión, estos suelos son importantes para el medio ambiente, proporcionan un hábitat para una variedad de fauna y plantas.

Foto 5.9. Perfil de suelo Arenosol, el presente perfil muestra horizontes arenosos, con coloraciones grises, drenaje excesivo y permeabilidad muy rápida.





## CAPITULO VI

### RESULTADOS

Se selecciono 194 puntos de muestreo para los suelos existentes en el área de estudio, la distribución de puntos de muestreo obtenidos en campo se observa en la Figura 6.1.

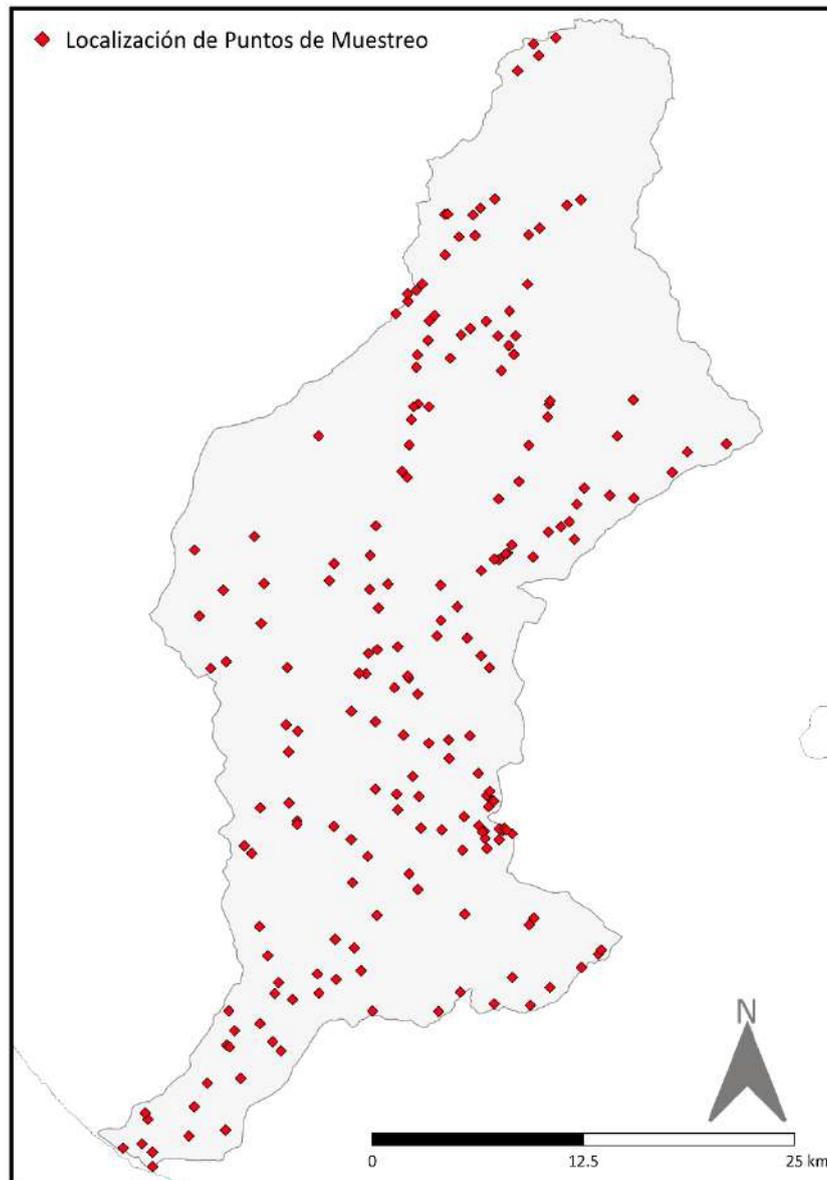


Figura 6.1. Mapa de localización de puntos de muestreo.

Según el uso de suelo, se obtuvieron 24 puntos de muestreo en suelos con Uso Agrícola, 6 puntos de muestreo sobre suelos con uso Residencial, 6 puntos de muestreo de suelos con uso Industrial o extractivo y 158 puntos de muestreo de suelos sin uso ni manejo (ver Tabla 6.1).



Tabla 6.1. *Conteo de puntos de muestreo según el Uso del Suelo.*

Puntos de muestreo según el Uso de Suelo	
Uso del Suelo	Puntos de muestreo
Uso Agrícola	24
Uso Residencial	6
Uso Industrial	6
Sin Uso	158
<b>Total</b>	<b>194</b>

Fuente: *Elaboración Propia*

De los 194 puntos de muestreo se recolectaron muestras a nivel superficial y profundo, de esta forma se obtuvo un total de 345 muestras de suelos para el análisis de elementos traza (ver Tabla 6.2). Del total de número de muestras se obtuvieron 48 muestras en suelos con uso Agrícola, 10 muestras de suelos con uso Residencial, 9 muestras de suelos con uso industrial y 278 muestras de suelos sin uso ni manejo (Ver Tabla 6.3).

Tabla 6.2. *Conteo de muestras según el nivel de profundidad.*

Conteo de Muestras	
Horizonte del Suelo	Número de Muestras
Nivel Superficial	194
Nivel Profundo	151
<b>Total, de muestras</b>	<b>345</b>

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 6.3. *Conteo de muestras según el nivel de profundidad y el Uso de suelo.*

Muestras según el Uso de Suelo			
Uso del Suelo	Número de Muestras		
	Nivel Superficial	Nivel Profundo	Sub Total
Uso Agrícola	24	24	48
Uso Residencial	6	4	10
Uso Industrial	6	3	9
Sin Uso	158	120	278
<b>Total</b>			<b>345</b>

Fuente: *Elaboración Propia*



## 6.1 CONTENIDO DE ELEMENTOS TRAZA

A continuación, se muestra un resumen de los parámetros estadístico que caracterizan el contenido de elementos traza de los suelos del área de estudio de acuerdo con el nivel de profundidad y el uso de suelo (Tabla 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 y 6.11).

En suelos con uso agrícola, las concentraciones medias de las muestras tomadas en el nivel profundo muestran un mayor valor en relación a los resultados de las concentraciones medias de las muestras del nivel superficial, exceptuando a Cd, Pb, Sn y Tl.

Tabla 6.4. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Agrícola y en el nivel de Horizonte Superficial.

Elemento Trazo	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	24	54.025	53.55	15.978	24.9	80.8	40.375	65.225
Cd	24	0.571	0.56	0.213	0.29	1.03	0.405	0.7025
Cu	24	68.383	68.55	14.751	49	113.5	56.9	77.05
Hg	24	0.068	0.07	0.029	0.02	0.12	0.042	0.089
Ni	24	18.2	18.35	2.446	14.3	26.3	16.6	19.1
Pb	24	44.458	42.95	12.566	24.6	71.7	34	56.525
Sb	24	4.066	4.26	0.747	2.32	5.24	3.535	4.55
Sn	24	1.508	1.5	0.343	1.1	2.6	1.3	1.5
Tl	24	0.736	0.76	0.11	0.55	0.9	0.62	0.8225

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.5. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Agrícola y en el nivel de Horizonte Profundo.

Elemento Trazo	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	24	54.146	49.7	33.378	10.1	146.5	31.675	66.925
Cd	24	0.51	0.38	0.398	0.07	1.68	0.175	0.6925
Cu	24	74.713	64.3	30.353	42.3	159.5	54.15	81.4
Hg	24	0.109	0.07	0.137	0.01	0.59	0.037	0.098
Ni	24	21.817	19.1	7.402	13.2	42.1	17.25	23.975
Pb	24	42.508	36.6	21.048	15.3	102.5	31.2	46.6
Sb	24	4.069	3.82	1.848	1	9.62	3.3525	4.47
Sn	24	1.467	1.4	0.243	1.1	1.9	1.3	1.625
Tl	24	0.603	0.6	0.208	0.24	0.96	0.4175	0.765

Fuente: Elaboración Propia

En las Tablas 6.6 y 6.7 se presenta un resumen de los estadísticos descriptivos para las muestras obtenidas en suelos con uso residencial. Las concentraciones medias del As, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl muestran valores mayores en el nivel del horizonte superficial que en el nivel profundo. Las concentraciones medias más altas las muestra el Cu en los diferentes niveles de muestreo.



Tabla 6.6. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Residencial y en el nivel de Horizonte Superficial.

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	6	28.05	24.7	10.57	17.5	44.3	20.55	34.625
Cd	6	0.232	0.17	0.13	0.12	0.47	0.1625	0.2625
Cu	6	214.4	102.65	278.4	70.6	780	85.575	138.63
Hg	6	0.016	0.01	0.01	0.01	0.04	0.009	0.0185
Ni	6	22.883	21.9	4.396	18.7	29.4	19.225	25.775
Pb	6	18.633	14.5	11.797	9.8	41.1	11.125	20.05
Sb	6	5.532	1.67	9.698	0.97	25.3	1.2525	2.2725
Sn	6	1.767	1.55	0.723	1.2	3.1	1.25	1.925
Tl	6	0.333	0.34	0.102	0.19	0.48	0.275	0.3825

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.7. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Residencial y en el nivel de Horizonte Profundo.

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	4	20.55	20	9.725	11.8	30.4	12.4	28.15
Cd	4	0.335	0.1	0.506	0.05	1.09	0.05	0.385
Cu	4	127.575	95.95	102.81	45.4	273	60.775	162.75
Hg	4	0.013	0.01	0.012	0	0.03	0.0059	0.0173
Ni	4	17.3	14.6	6.297	13.3	26.7	14.275	17.625
Pb	4	14.275	14.85	7.793	4.8	22.6	9.825	19.3
Sb	4	1.272	0.96	0.828	0.69	2.47	0.735	1.5025
Sn	4	1.575	1.55	0.506	1	2.2	1.3	1.825
Tl	4	0.25	0.26	0.068	0.16	0.32	0.22	0.29

Fuente: Elaboración Propia

El resumen de los parámetros estadísticos para suelos con uso industrial se presenta en las Tablas 6.8 y 6.9 para el nivel de muestreo superficial y el nivel de muestreo profundo respectivamente. Las concentraciones medias de As, Hg, Ni y Sb son más altas en las muestras del nivel profundo. En el caso de Sn y Tl se observa una diferencia mínima entre sus concentraciones medias en los dos niveles de horizonte muestreados. Las concentraciones medias de Cd, Cu y Pb son más elevadas para las muestras superficiales.



Tabla 6.8. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Industrial y en el nivel de Horizonte Superficial.

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	6	38.7	30.55	32.726	9.8	98.6	16.575	45.725
Cd	6	2.958	0.24	6.236	0.07	15.65	0.1775	1.105
Cu	6	170.25	98.3	154.15	74.6	470	83.075	176.3
Hg	6	0.056	0.04	0.03	0.04	0.11	0.0378	0.0578
Ni	6	27.933	26.7	12.903	14.4	48.6	18.15	33.6
Pb	6	36.717	36.15	15.299	13.6	59.7	31.3	42.8
Sb	6	4.618	3.37	3.467	1.53	10.45	2.1725	6.26
Sn	6	1.433	1.55	0.35	1	1.8	1.125	1.675
Tl	6	0.447	0.47	0.159	0.22	0.61	0.3425	0.575

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.9. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos con capacidad de uso Industrial y en el nivel de Horizonte Profundo

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	3	107.5	111.5	9.179	97	114	104.25	112.75
Cd	3	0.417	0.29	0.348	0.15	0.81	0.22	0.55
Cu	3	90.767	107.5	32.957	52.8	112	80.15	109.75
Hg	3	0.113	0.04	0.133	0.04	0.27	0.036	0.1515
Ni	3	41	31	33.151	14	78	22.5	54.5
Pb	3	31.567	27.1	24.408	9.7	57.9	18.4	42.5
Sb	3	9.613	7.83	8.88	1.76	19.25	4.795	13.54
Sn	3	1.633	1.3	0.666	1.2	2.4	1.25	1.85
Tl	3	0.573	0.76	0.341	0.18	0.78	0.47	0.77

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.10 y 6.11 se presenta los parámetros estadísticos para los suelos sin uso alguno. Las concentraciones medias de As, Cd, Cu, Pb y Sb muestran concentraciones medias más altas en el nivel profundo. Mientras que Hg, Sn y Tl presentan similares valores de concentraciones medias. Ni muestra un mayor valor de concentración media en el nivel superficial.

Tabla 6.10. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos capacidad de uso Sin Uso y en el nivel de Horizonte Superficial

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	158	25.032	19.25	41.475	6.5	513	15.45	23.9
Cd	158	0.359	0.26	0.597	0.02	6.92	0.18	0.37
Cu	158	96.275	84.5	56.01	8.1	403	66.225	106.25
Hg	158	0.023	0.01	0.04	0	0.27	0.005	0.0238
Ni	158	19.117	18.15	11.015	0.7	115.5	14.025	21.85
Pb	158	25.211	21.65	20.962	5.2	203	18.45	24.9
Sb	158	1.946	1.65	1.832	0.55	21	1.25	2.01
Sn	158	1.478	1.4	0.491	0.4	4.7	1.2	1.7
Tl	158	0.493	0.43	0.467	0.06	5.75	0.34	0.5475

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 6.11. Estadísticos descriptivos para los elementos traza (ppm) en suelos capacidad de uso Sin Uso y en el nivel de Horizonte Profundo

Elemento Traza	N	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo	Q1	Q3
As	120	32.936	20.65	61.835	5.6	662	15.075	31.95
Cd	120	0.589	0.12	2.913	0.01	29.6	0.07	0.23
Cu	120	117.938	64.9	342.52	5.6	3710	35.9	104.25
Hg	120	0.024	0.01	0.027	0	0.16	0.005	0.0315
Ni	120	18.258	16.3	15.459	0.9	107.5	7.65	22.95
Pb	120	32.272	20.25	88.561	1.3	864	12.975	24.525
Sb	120	2.545	1.71	5.783	0.08	60.7	1.04	2.5825
Sn	120	1.441	1.5	0.688	0.1	4.3	0.9	1.8
Tl	120	0.458	0.42	0.405	0.02	4.2	0.2775	0.5625

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.12, el test de normalidad pone en relieve que las muestras superficiales de suelos de uso residencial, industrial y agrícola presentan una normalidad en su distribución de los datos para la mayoría de elementos traza, caso contrario en los suelos “Sin uso”. Mientras que en la Tabla 6.13, el test de normalidad pone en relieve que las muestras de suelos de uso residencial e industrial presentan una normalidad en su distribución de los datos para el mayor número de elementos traza, en ambas tablas se observa que en suelos “sin uso” la mayor parte de elementos traza muestra una distribución no normal de sus datos.

Tabla 6.12. Prueba de normalidad de datos, según el uso de suelo en muestras tomadas en el horizonte superficial. En cuadros verdes se observa los datos que muestran una normalidad en su distribución ( $p$ -value > 0.05).

USO DEL SUELO	MUESTRAS DEL HORIZONTE SUPERFICIAL	Prueba de Normalidad		P-value, grado de significancia estadística calculada								
		Kolmogorov Smirnov - Lilliefors	Shapiro Wilks	As_ppm	Cd_ppm	Cu_ppm	Hg_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm	Tl_ppm
Uso Agrícola	24		x	0.506	0.109	0.024	0.471	0.01	0.394	0.5541	0.00	0.057
Uso Residencial	6		x	0.904	0.083	0.00	0.333	0.36	0.048	0.00	0.107	0.998
Uso Industrial	6		x	0.194	0.00	0.007	0.017	0.552	0.965	0.251	0.142	0.346
Sin Uso	158	x		2.2E-16	2.2E-16	7.25E-14	2.2E-16	4.527E-13	2.2E-16	2.2E-16	3.8E-06	2.2E-16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.13. Prueba de normalidad de datos, según el uso de suelo en muestras tomadas en el horizonte profundo. En cuadros verdes se observa los datos que muestran una normalidad en su distribución ( $p$ -value > 0.05).

USO DEL SUELO	MUESTRAS DEL HORIZONTE PROFUNDO	Prueba de Normalidad		P-value, grado de significancia estadística calculada								
		Kolmogorov Smirnov - Lilliefors	Shapiro Wilks	As_ppm	Cd_ppm	Cu_ppm	Hg_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Sb_ppm	Sn_ppm	Tl_ppm
Uso Agrícola	24		x	0.056	0.014	0.001	3.2E-06	0.001	0.002	0.021	0.037	0.426
Uso Residencial	4		x	0.141	0.011	0.311	0.481	0.016	0.89	0.134	0.988	0.85
Uso Industrial	3		x	0.261	0.387	0.131	0.014	0.5	0.696	0.662	0.144	0.056
Sin Uso	120	x		2.2E-16	2.2E-16	2.2E-16	6.7E-16	8.3E-07	2.2E-16	2.2E-16	0.087	9.3E-12

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.1 ARSÉNICO (As)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Arsénico para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.14, la distribución de los datos para los suelos de uso Agrícola, Residencial e Industrial se ajusta a una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar. De las metodologías usadas el método de la mediana y la desviación absoluta determinan valores más bajos en comparación al método de la media; se establece un nivel de fondo para Cadmio de 53.55 ppm para suelos de uso Agrícola, 24.7 ppm para suelos de uso Residencial, 30.55 ppm para suelos de uso Industrial y 19.23 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.14. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Arsénico (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	54.025		28.05		38.7		1.303 (20.09)	
SD	15.978		10.57		32.726		0.217 (1.65)	
Mediana		53.55		24.7		30.55		1.284 (19.23)
MAD		18.532		8.97		24.834		0.141 (1.38)
LIF	22.068	16.485	6.909	6.761	-26.751	-19.117	0.868 (7.38)	1.001 (10.02)
LSF	85.982	90.615	49.191	42.639	104.151	80.217	1.737 (54.58)	1.567 (36.90)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.15 se muestran los valores de los niveles de fondo obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal, a excepción de los suelos Sin uso por lo que se realizó la transformación logarítmica. De las metodologías usadas el método de la mediana determina valores de nivel de fondo más bajos en comparación al método de la media para suelos Agrícolas, Residenciales y Sin Uso; se establece un nivel de fondo para Cadmio de 49.7 ppm para suelos de uso Agrícola, 20 ppm para suelos de uso Residencial, 107.5 ppm para suelos de uso Industrial y 20.65 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.15. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Arsénico (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	54.146		20.55		107.5		1.361 (22.96)	
SD	33.378		9.725		9.179		0.306 (2.02)	
Mediana		49.7		20		111.5		1.315 (20.65)
MAD		26.02		11.564		3.706		0.256 (1.80)
LIF	-12.611	-2.339	1.101	-3.129	89.142	104.087	0.75 (5.62)	0.802 (6.34)
LSF	120.902	101.739	39.999	43.129	125.858	118.913	1.972 (93.76)	1.828 (67.30)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.2 CADMIO (Cd)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Cadmio para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.16, la distribución de los datos para los suelos de uso Agrícola y Residencial muestran una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar, en el caso de suelos Industriales y Sin Uso se realizó la transformación de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 0.56 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.175 ppm para suelos de uso Residencial, 0.24 ppm para suelos de uso Industrial y 0.26 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.16. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cadmio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.571		0.232		-0.307 (0.49)		-0.582 (0.26)	
SD	0.213		0.13		0.849 (7.06)		0.298 (1.99)	
Mediana		0.56		0.175		-0.626 (0.24)		-0.585 (0.26)
MAD		0.237		0.052		0.499 (3.16)		0.232 (1.71)
LIF	0.145	0.086	-0.028	0.071	-2.004 (0.01)	-1.623 (0.02)	-1.177 (0.07)	-1.049 (0.09)
LSF	0.997	1.034	0.491	0.279	1.39 (24.55)	0.371 (2.35)	0.014 (1.03)	-0.121 (0.757)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.17 se muestran los valores de los niveles de fondo de Cadmio obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal solamente para suelos Industriales, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Cadmio son 0.37 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.09 ppm para suelos de uso Residencial, 0.29 ppm para suelos de uso Industrial y 0.13 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.17. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cadmio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	-0.433 (0.37)		-0.847 (0.14)		0.417		-0.847 (0.14)	
SD	0.382 (2.41)		0.631 (4.28)		0.348		0.507 (3.21)	
Mediana		-0.42 (0.38)		-1.062 (0.09)		0.29		-0.903 (0.13)
MAD		0.437 (2.74)		0.354 (2.26)		0.208		0.393 (2.47)
LIF	-1.197 (0.06)	-1.295 (0.05)	-2.109 (0.01)	-1.77 (0.02)	-0.279	-0.125	-1.861 (0.01)	-1.69 (0.02)
LSF	0.33 (2.14)	0.454 (2.84)	0.415 (2.60)	-0.355 (0.44)	1.112	0.705	0.167 (1.47)	-0.117 (0.764)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.3 COBRE (Cu)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Cobre para las muestras del nivel superficial en suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.18; la distribución de los datos para los cuatro tipos de uso de suelos no presenta una distribución normal, se realizó la transformación de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 68.55 ppm para suelos de uso Agrícola, 101.39 ppm para suelos de uso Residencial, 98.40 ppm para suelos de uso Industrial y 84.14 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.18. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cobre (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.826 (66.99)		2.141 (138.36)		2.122 (132.43)		1.925 (84.14)	
SD	0.09 (1.23)		0.385 (2.43)		0.311 (2.05)		0.228 (1.69)	
Mediana		1.836 (68.55)		2.006 (101.39)		1.993 (98.40)		1.927 (84.53)
MAD		0.089 (1.23)		0.173 (1.49)		0.162 (1.45)		0.157 (1.44)
LIF	1.646 (44.26)	1.657 (45.39)	1.372 (23.55)	1.66 (45.71)	1.499 (31.55)	1.668 (46.56)	1.47 (29.51)	1.614 (41.11)
LSF	2.006 (101.39)	2.015 (103.51)	2.91 (812.83)	2.353 (225.42)	2.744 (554.63)	2.317 (207.49)	2.381 (240.44)	2.24 (173.78)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.19 se muestran los valores de los niveles de fondo de Cobre obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal solamente para suelos de uso Residencial e Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos.

Los valores de nivel de fondo determinados para Cobre son 64.27 ppm para suelos de uso Agrícola, 95.95 ppm para suelos de uso Residencial, 90.77 ppm para suelos de uso Industrial y 60.81 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.19. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Cobre (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.845 (69.98)		127.575		90.767		1.784 (60.81)	
SD	0.153 (1.42)		102.806		32.957		0.446 (2.79)	
Mediana		1.808 (64.27)		95.95		107.5		1.812 (64.86)
MAD		0.126 (1.34)		59.749		6.672		0.333 (2.15)
LIF	1.54 (34.67)	1.556 (35.97)	-78.038	-23.548	24.853	94.157	0.891 (7.78)	1.147 (14.03)
LSF	2.151 (141.58)	2.061 (115.08)	333.188	215.448	156.681	120.843	2.676 (474.24)	2.477 (299.92)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.4 MERCURIO (Hg)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Mercurio para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.20, Los suelos de uso Agrícola y Residencial muestran una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar, en el caso de suelos Industriales y Sin Uso se realizó la transformación de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 0.068 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.015 ppm para suelos de uso Residencial, 0.04 ppm para suelos de uso Industrial y 0.01 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.20. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Mercurio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.068		0.016		-1.293 (0.05)		-1.94 (0.01)	
SD	0.029		0.01		0.19 (1.55)		0.491 (3.10)	
Mediana		0.071		0.015		-1.357 (0.04)		-1.921 (0.01)
MAD		0.037		0.008		0.129 (1.35)		0.472 (2.96)
LIF	0.011	-0.003	-0.004	-0.002	-1.673 (0.021)	-1.615 (0.024)	-2.923 (0.0012)	-2.865 (0.0014)
LSF	0.125	0.145	0.036	0.031	-0.912 (0.122)	-1.099 (0.08)	-0.957 (0.110)	-0.977 (0.105)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.21 se muestran los valores de los niveles de fondo de Mercurio obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal solamente para suelos de uso Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Cadmio son 0.06 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.01 ppm para suelos de uso Residencial, 0.04 ppm para suelos de uso Industrial y 0.01 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.21. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Mercurio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	-1.206 (0.06)		0.013		-1.154 (0.07)		-1.898 (0.01)	
SD	0.489 (3.08)		0.012		0.502 (3.18)		0.51 (3.24)	
Mediana		-1.141 (0.07)		0.01		-1.432 (0.04)		-1.854 (0.01)
MAD		0.361 (2.30)		0.008		0.036 (1.09)		0.552 (3.56)
LIF	-2.183 (0.007)	-1.864 (0.014)	-0.011	-0.006	-2.158 (0.007)	-1.503 (0.031)	-2.918 (0.0012)	-2.958 (0.0011)
LSF	-0.229 (0.59)	-0.419 (0.38)	0.037	0.026	-0.151 (0.706)	-1.36 (0.044)	-0.877 (0.133)	-0.75 (0.178)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.5 NÍQUEL (Ni)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Níquel para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.22, Los suelos de uso Residencial e Industrial muestran una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar, en el caso de suelos de uso Agrícola y Sin Uso se realizó la transformación de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 18.07 ppm para suelos de uso Agrícola, 21.9 ppm para suelos de uso Residencial, 26.7 ppm para suelos de uso Industrial y 16.87 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.22. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Níquel (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.257 (18.07)		22.883		27.933		1.227 (16.87)	
SD	0.055 (1.14)		4.396		12.903		0.232 (1.71)	
Mediana	1.264 (18.37)		21.9		26.7		1.259 (18.16)	
MAD	0.032 (1.08)		4.596		15.123		0.143 (1.39)	
LIF	1.146 (14.00)	1.201 (15.89)	14.091	12.708	2.127	-3.545	0.763 (5.79)	0.974 (9.42)
LSF	1.367 (23.28)	1.327 (21.23)	31.676	31.092	53.74	56.945	1.691 (49.09)	1.544 (34.99)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.23 se muestran los valores de los niveles de fondo de Níquel obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal solamente para suelos de uso Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Níquel son 19.10 ppm para suelos de uso Agrícola, 14.59 ppm para suelos de uso Residencial, 31 ppm para suelos de uso Industrial y 12.68 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.23. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Níquel (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.319 (20.84)		1.22 (16.60)		41		1.103 (12.68)	
SD	0.13 (1.35)		0.138 (1.37)		33.151		0.416 (2.61)	
Mediana	1.281 (19.10)		1.164 (14.59)		31		1.212 (16.29)	
MAD	0.095 (1.24)		0.03 (1.07)		25.204		0.304 (2.01)	
LIF	1.058 (11.43)	1.092 (12.36)	0.941 (8.73)	1.104 (12.71)	-25.302	-19.408	0.27 (1.86)	0.603 (4.01)
LSF	1.579 (37.93)	1.47 (29.51)	1.498 (31.48)	1.224 (16.75)	107.302	81.408	1.935 (86.10)	1.82 (66.07)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.6 PLOMO (Pb)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Plomo para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.24, Los suelos de uso Agrícola e Industrial muestran una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar, en el caso de suelos de uso Agrícola y Sin Uso se realizó la transformación de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 42.95 ppm para suelos de uso Agrícola, 14.45 ppm para suelos de uso Residencial, 36.15 ppm para suelos de uso Industrial y 21.63 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.24. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Plomo (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	44.46		1.212 (16.29)		36.717		1.342 (21.98)	
SD	12.57		0.233 (1.71)		15.299		0.197 (1.57)	
Mediana		42.95		1.16 (14.45)		36.15		1.335 (21.63)
MAD		14.23		0.231 (1.70)		10.008		0.098 (1.25)
LIF	19.33	14.48	0.747 (5.58)	0.698 (4.99)	6.119	16.135	0.948 (8.87)	1.14 (13.80)
LSF	69.59	71.416	1.678 (47.64)	1.622 (41.88)	67.315	56.165	1.736 (54.45)	1.531 (33.96)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.25 se muestran los valores de los niveles de fondo de Plomo obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal para suelos de uso Residencial e Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Plomo son 36.56 ppm para suelos de uso Agrícola, 14.275 ppm para suelos de uso Residencial, 27.1 ppm para suelos de uso Industrial y 17.91 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.25. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Plomo (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.584 (38.37)		14.275		31.567		1.253 (17.91)	
SD	0.197 (1.57)		7.793		24.408		0.364 (2.31)	
Mediana		1.563 (36.56)		14.85		27.1		1.306 (20.23)
MAD		0.114 (1.30)		8.228		25.797		0.169 (1.48)
LIF	1.19 (15.49)	1.335 (21.63)	-1.311	-1.607	-17.25	-24.494	0.526 (3.36)	0.968 (9.29)
LSF	1.978 (95.06)	1.792 (61.94)	29.861	31.307	80.384	78.694	1.981 (95.72)	1.645 (44.16)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.7 ANTIMONIO (Sb)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Antimonio para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.26, Los suelos de uso Agrícola e Industrial muestran una distribución normal por lo cual se usaron los datos sin transformar, en el caso de suelos de uso Agrícola y Sin Uso se realizó la transformación logarítmica de los datos (distribución no normal). De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 4.066 ppm para suelos de uso Agrícola, 1.64 ppm para suelos de uso Residencial, 3.365 ppm para suelos de uso Industrial y 1.65 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.26. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Antimonio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	4.066		0.38 (2.40)		4.618		0.22 (1.66)	
SD	0.747		0.52 (3.31)		3.467		0.218 (1.65)	
Mediana		4.265		0.216 (1.64)		3.365		0.217 (1.65)
MAD		0.764		0.222 (1.67)		2.313		0.14 (1.38)
LIF	2.572	2.738	-0.661 (0.22)	-0.227 (0.59)	-2.316	-1.261	-0.216 (0.61)	-0.062 (0.87)
LSF	5.559	5.792	1.421 (26.36)	0.66 (4.57)	11.552	7.991	0.655 (4.52)	0.497 (3.14)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.27 se muestran los valores de los niveles de fondo de Antimonio obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal para suelos de uso Residencial e Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los demás tipos de usos de suelos. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Antimonio son 3.67 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.965 ppm para suelos de uso Residencial, 7.83 ppm para suelos de uso Industrial y 1.54 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.27. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Antimonio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	1.584 (38.37)		14.275		31.567		1.253 (17.91)	
SD	0.197 (1.57)		7.793		24.408		0.364 (2.31)	
Mediana		1.563 (36.56)		14.85		27.1		1.306 (20.23)
MAD		0.114 (1.30)		8.228		25.797		0.169 (1.48)
LIF	1.19 (15.49)	1.335 (21.63)	-1.311	-1.607	-17.25	-24.494	0.526 (3.36)	0.968 (9.29)
LSF	1.978 (95.06)	1.792 (61.94)	29.861	31.307	80.384	78.694	1.981 (95.72)	1.645 (44.16)

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.8 ESTAÑO (Sn)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Estaño para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.28, Los suelos de uso Agrícola y Sin Uso muestran una distribución no normal por lo cual se usaron los datos transformados logarítmicamente. De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 1.48 ppm para suelos de uso Agrícola, 1.55 ppm para suelos de uso Residencial, 1.43 ppm para suelos de uso Industrial y 1.40 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.28. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Estaño (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.17 (1.48)		1.767		1.433		0.149 (1.41)	
SD	0.086 (1.22)		0.723		0.35		0.136 (1.37)	
Mediana		0.176 (1.50)		1.55		1.55		0.146 (1.40)
MAD		0.044 (1.11)		0.519		0.297		0.125 (1.33)
LIF	-0.003 (0.99)	0.087 (1.22)	0.321	0.512	0.733	0.957	-0.123 (0.75)	-0.104 (0.79)
LSF	0.342 (2.20)	0.265 (1.84)	3.213	2.588	2.134	2.143	0.42 (2.63)	0.396 (2.49)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.29 se muestran los valores de los niveles de fondo de Estaño obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal para suelos de uso Residencial, Industrial y Sin Uso, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los suelos de uso Agrícola. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Estaño son 1.40 ppm para suelos de uso Agrícola, 1.55 ppm para suelos de uso Residencial, 1.3 ppm para suelos de uso Industrial y 1.441 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.29. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Estaño (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.161 (1.45)		1.575		1.633		1.441	
SD	0.07 (1.17)		0.506		0.666		0.688	
Mediana		0.146 (1.40)		1.55		1.3		1.5
MAD		0.067 (1.17)		0.519		0.148		0.593
LIF	0.021 (1.05)	0.012 (1.03)	0.563	0.512	0.302	1.003	0.065	0.314
LSF	0.301 (2.00)	0.28 (1.91)	2.587	2.588	2.965	1.597	2.817	2.686

Fuente: Elaboración Propia



### 6.1.9 TALIO (TI)

Los valores de los niveles de fondo y los límites inferiores y superiores de Talio para las muestras del nivel superficial para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso se muestran en la Tabla 6.30, Los suelos Sin Uso muestran una distribución no normal por lo cual se usaron los datos transformados logarítmicamente, para los suelos de uso Agrícola, Residencial e Industrial se presenta una distribución normal por lo cual no se realizó la transformación de los datos. De las metodologías usadas, se establece un nivel de fondo de 0.755 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.333 ppm para suelos de uso Residencial, 0.447 ppm para suelos de uso Industrial y 0.43 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.30. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Talio (ppm) en muestras Superficiales en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.736		0.333		0.447		-0.369 (0.43)	
SD	0.11		0.102		0.159		0.208 (1.61)	
Mediana		0.755		0.34		0.47		-0.367 (0.43)
MAD		0.141		0.096		0.185		0.151 (1.42)
LIF	0.516	0.473	0.13	0.147	0.128	0.099	-0.786 (0.16)	-0.669 (0.21)
LSF	0.956	1.037	0.536	0.533	0.765	0.841	0.048 (1.12)	-0.064 (0.86)

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6.31 se muestran los valores de los niveles de fondo de Talio obtenidos para las muestras del horizonte profundo para suelos de uso Agrícola, Residencial, Industrial y Sin uso. El tipo de distribución de los datos es normal para suelos de uso Residencial, Industrial e Industrial, se realizó la transformación logarítmica de los datos para los suelos Sin uso. De las metodologías usadas los valores de nivel de fondo determinados para Talio son 0.6 ppm para suelos de uso Agrícola, 0.25 ppm para suelos de uso Residencial, 0.573 ppm para suelos de uso Industrial y 0.37 ppm para suelos Sin Uso.

Tabla 6.31. Niveles de fondo, límite inferior (LIF) y límite superior (LSF) de Talio (ppm) en muestras Profundas en suelos de uso “Agrícola”, “Residencial”, “Industrial” y “Sin uso”.

Parámetros estadísticos	Suelo Agrícola		Suelo Residencial		Suelo Industrial		Suelo Sin Uso	
	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD	X ± 2SD	med ± 2MAD
Media	0.603		0.25		0.573		-0.43 (0.37)	
SD	0.208		0.068		0.341		0.29 (1.95)	
Mediana		0.6		0.26		0.76		-0.377 (0.42)
MAD		0.267		0.059		0.03		0.217 (1.65)
LIF	0.187	0.066	0.113	0.141	-0.108	0.701	-1.011 (0.10)	-0.81 (0.15)
LSF	1.02	1.134	0.387	0.379	1.255	0.819	0.151 (1.42)	0.057 (1.14)

Fuente: Elaboración Propia



## CAPITULO VII

### DISCUSIÓN

#### 7.1 GENERALIDADES

En el presente capítulo se pone en tema de discusión los niveles de fondo obtenidos por los distintos métodos estadísticos usados en el presente estudio. Se realizará una comparación con los valores de nivel de fondo de suelos establecidos para los usos de suelo Agrícola, Residencial e Industrial en “Soil Quality Guidelines – Canadá (2007)”, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelo para Perú (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2017) y como referente de niveles de fondo locales se compara con el estudio de evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2017) para suelos de uso Agrícola (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Concentraciones de valores de nivel de fondo en suelos de Canadá y suelos de Perú (ECA de suelos MINAM,2017 y OEFA,2017)

ELEMENTO TRAZA (PPM)	Canadian Soil Quality Guidelines (ppm)			ECA (ppm) DS 011-2017 MINAM			OEFA, 2017
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial	Suelo Industrial	Suelo Agrícola	Suelo Residencial	Suelo Industrial	Suelo Agrícola
As	12	12	12	50	50	140	46.78
Cd	1.4	10	22	1.4	10	22	0.517
Cu	63	63	91	-	-	-	46.93
Hg	6.6	6.6	50	6.6	6.6	24	-
Ni	50	50	50	-	-	-	15.04
Pb	70	140	600	70	140	800	32.18
Sb	-	-	-	-	-	-	1.691
Sn	-	-	-	-	-	-	0.415
Tl	1	1	1	-	-	-	0.22

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta figuras de gráficos de líneas para cada elemento traza de estudio, en línea verde se presenta los valores determinados en el presente estudio, en color rojo se presenta como comparativo internacional los valores de nivel de fondo del “Soil Quality Guidelines – Canadá (2007)”, en color azul como principal comparativo se presenta los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelo para Perú (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2017) y en color amarillo los valores propuestos en el estudio local de la OEFA.

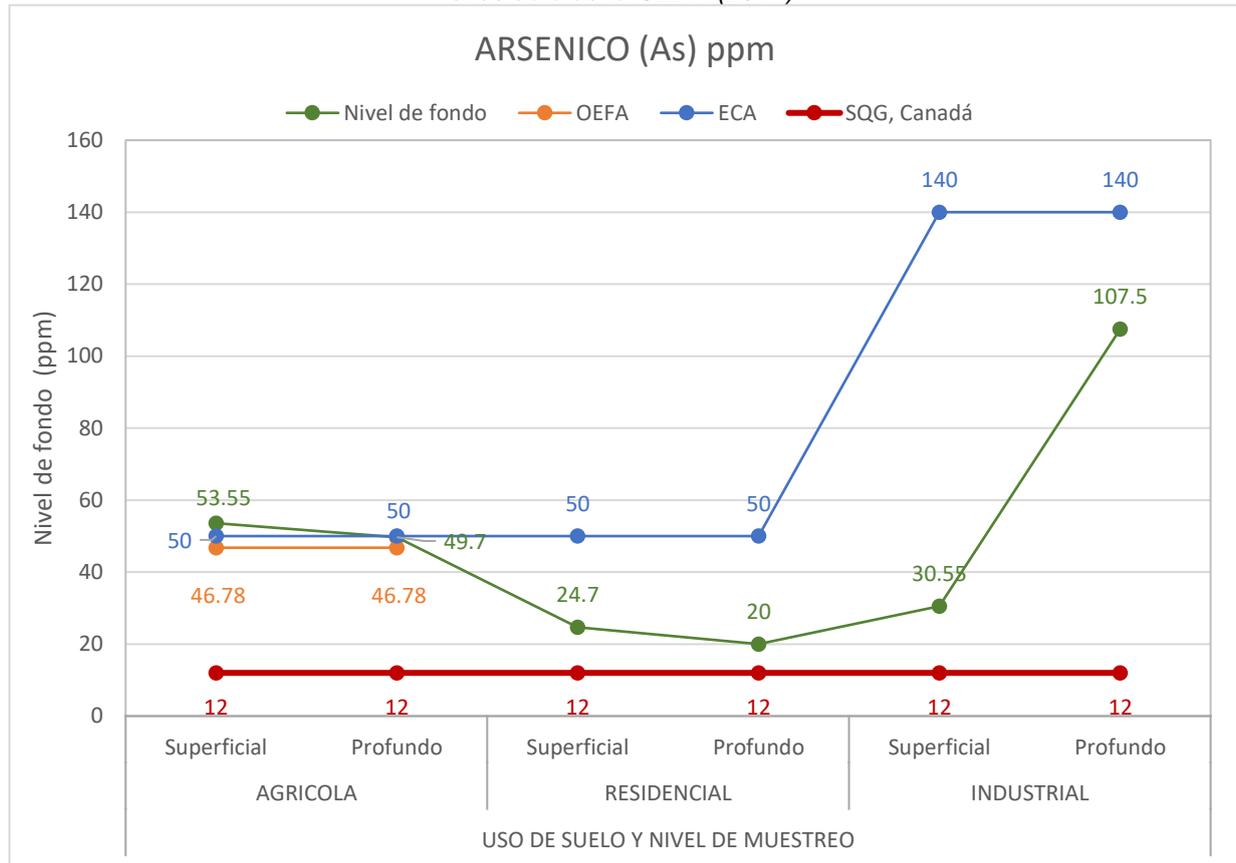
#### 7.2 ARSÉNICO (As)

El As es un elemento abundante en el ambiente y altamente tóxico para humanos. En el Figura 7.1, los valores de nivel de fondo de Arsénico determinados en el presente estudio superan a los valores del SQG de Canadá (2007) y al OEFA (2017), en



comparación al ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017), solo se supera en los suelos de uso agrícola en las muestras superficiales, los demás valores determinados en el presente estudio presentan valores esperados por debajo del ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017), reflejando valores de nivel de fondo propio de los suelos del territorio peruano sobre el área de estudio.

Figura 7.1 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Arsénico (As), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

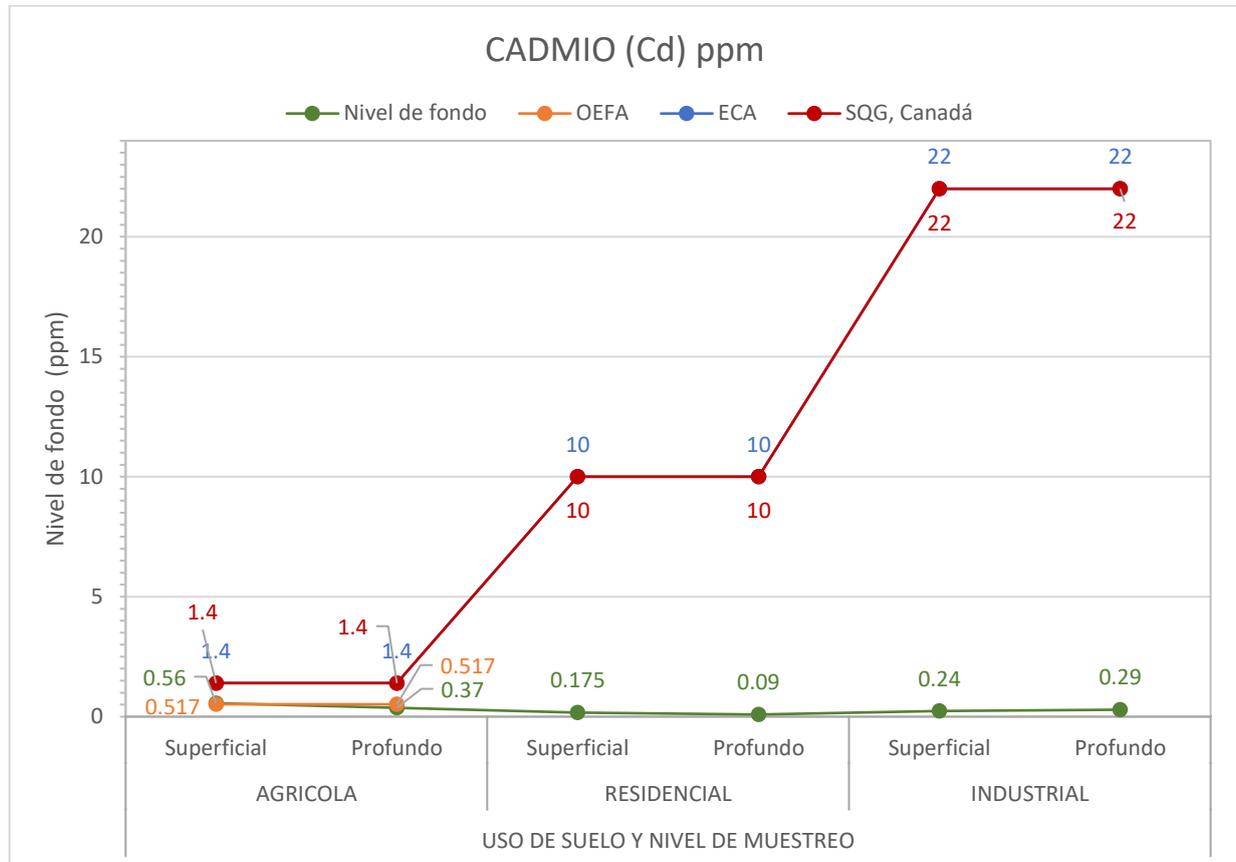
### 7.3 CADMIO (Cd)

El Cd es considerado muy tóxico para el ambiente y la salud, su ingesta se da por inhalación de polvo y la ingestión de comidas y bebidas. Los valores de nivel de fondo presentados por el SQG (Canadá, 2007) y el ECA de suelos de Perú, presentan los mismos valores, y al ser comparados con los niveles de fondo determinados en el presente estudio no son superados, lo cual muestra la relevancia de definir niveles de fondo para cada región o área geográfica.

En comparación al estudio de OEFA (2017), se supera en 0.05 ppm en los suelos de uso agrícola en muestras del nivel superficial, siendo las muestras de profundidad las que dieron un valor más bajo para suelos de uso agrícola. (Figura 7.2)



Figura 7.2 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Cadmio (Cd), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

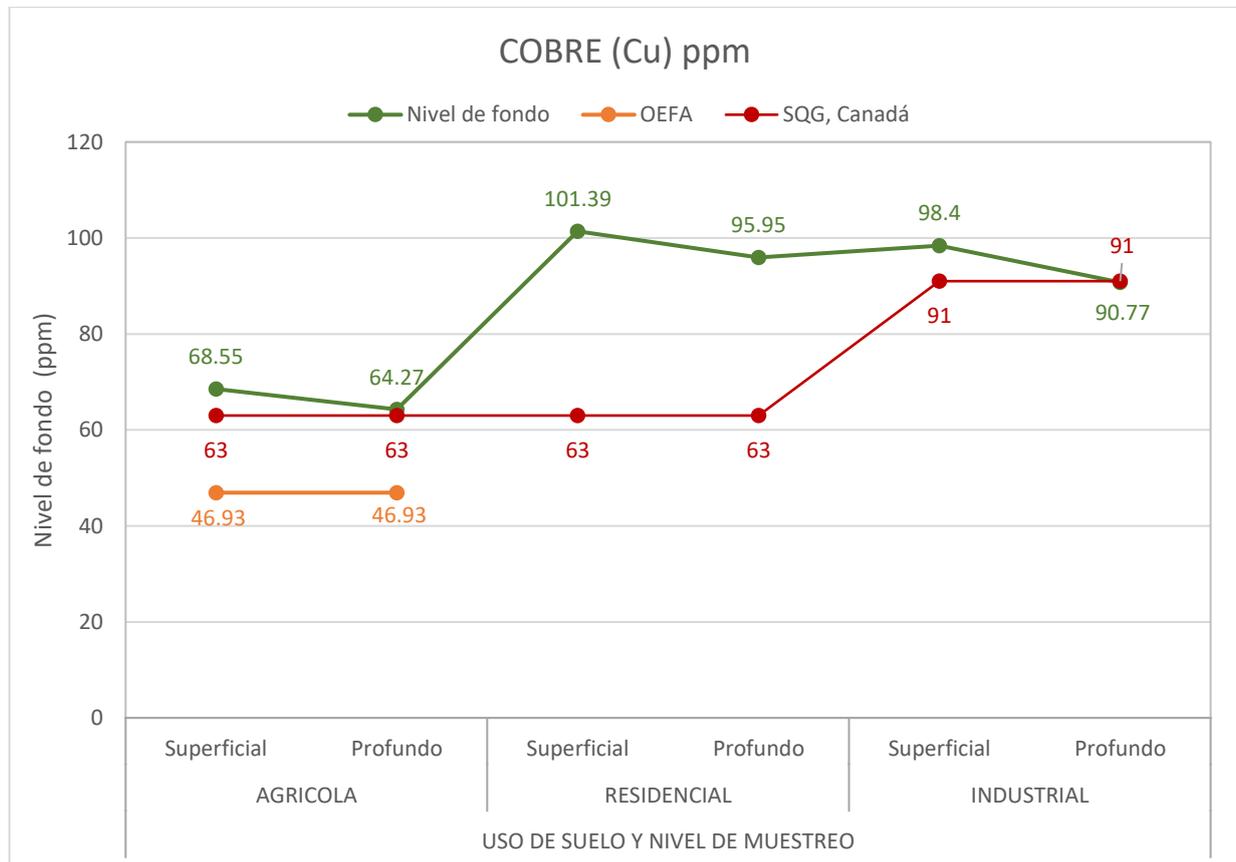
#### 7.4 COBRE (Cu)

El Cu es un elemento de gran importancia en bajas concentraciones para los organismos, incluyendo a los humanos. El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) no presenta niveles de fondo para el elemento traza Cobre, el estándar internacional de Canadá (SQG) es el comparativo de los niveles de fondo establecidos en el presente estudio, en la Figura 7.3 se observa que los valores establecidos en el presente estudio superan los estándares internacionales de Canadá, esto muestra una posible contaminación en cada uso de suelo y así mismo muestra que el área geográfica modifica los niveles de fondo por lo cual es relevante definir niveles de fondo propios de cada región geográfica. El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), tuvo como resultado un nivel de fondo de 46.93 ppm para suelos agrícolas, este valor al ser comparado con los resultados de nivel de fondo del presente estudio se observa que se supera en 22 ppm en el nivel superficial y 18 ppm en el nivel profundo de suelos



agrícolas (68.55 ppm y 64.27 ppm), en el estudio presente se trabajó en base a 24 muestras mientras que el estudio de la OEFA trabajó en base a 14 muestras de estudio por ello se observa la diferencia de los niveles de fondo calculados.

Figura 7.3 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Cobre (Cu), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

### 7.5 MERCURIO (Hg)

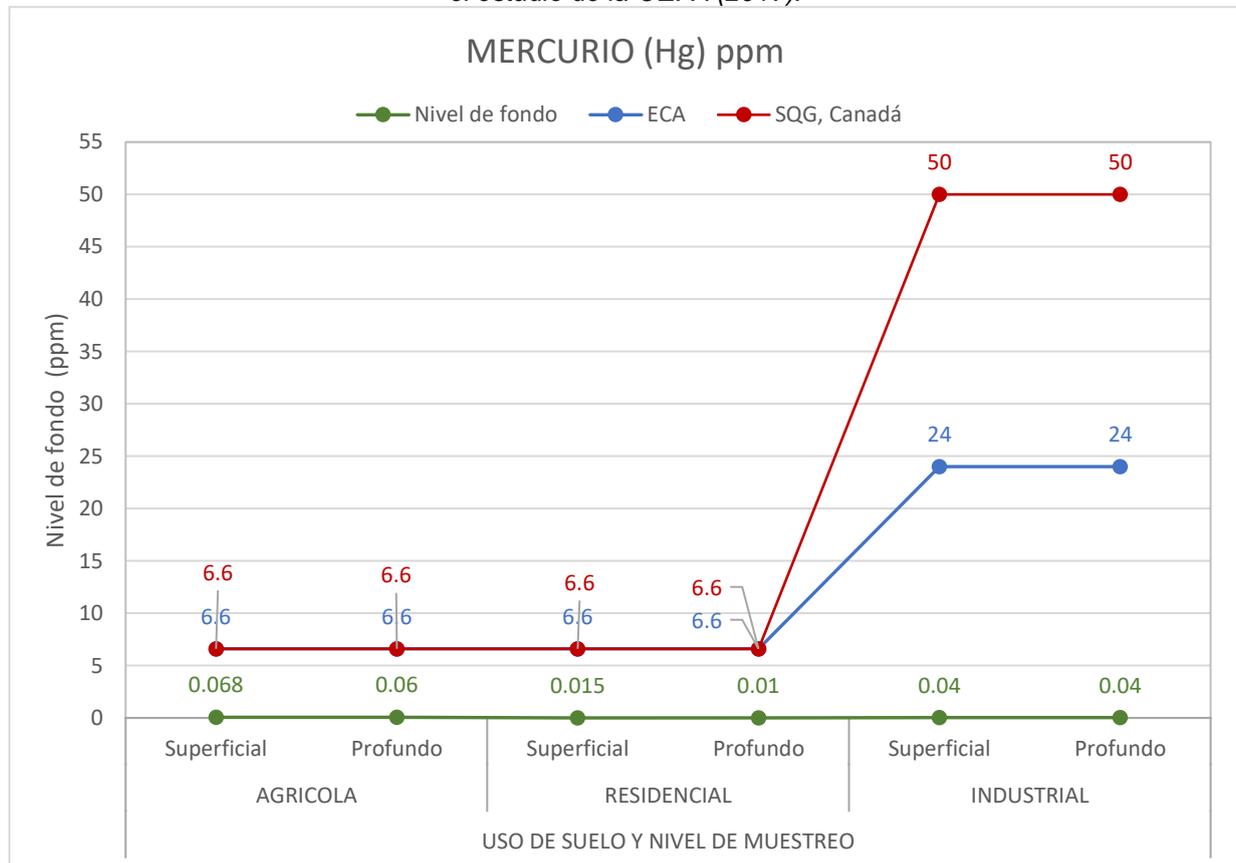
Según Kabata & Mukherjee (2007), el mercurio es un contaminante ambiental, de muy baja abundancia en la corteza, presenta concentraciones entre 0.02 a 0.06 ppm y es de difícil estimación de nivel de fondo. El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) establece niveles de fondo para los suelos agrícolas (6.6 ppm), suelos residenciales (6.6 ppm) y suelos industriales (24 ppm), estos valores de fondo no son superados por los resultados de nivel de fondo obtenidos en el presente estudio. En comparación los niveles de fondo del SQG de Canadá para suelos de uso Industrial son más elevados a el nivel de fondo del ECA de suelos de Perú en suelos de uso industrial, y se presentan los mismos valores para los suelos de uso Agrícola y Residencial.

El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación



y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), no pudo establecer el nivel de fondo para suelos agrícolas, esto se debe a su difícil estimación y al número de muestras de trabajo (ver Figura 7.4).

Figura 7.4 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Mercurio (Hg), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

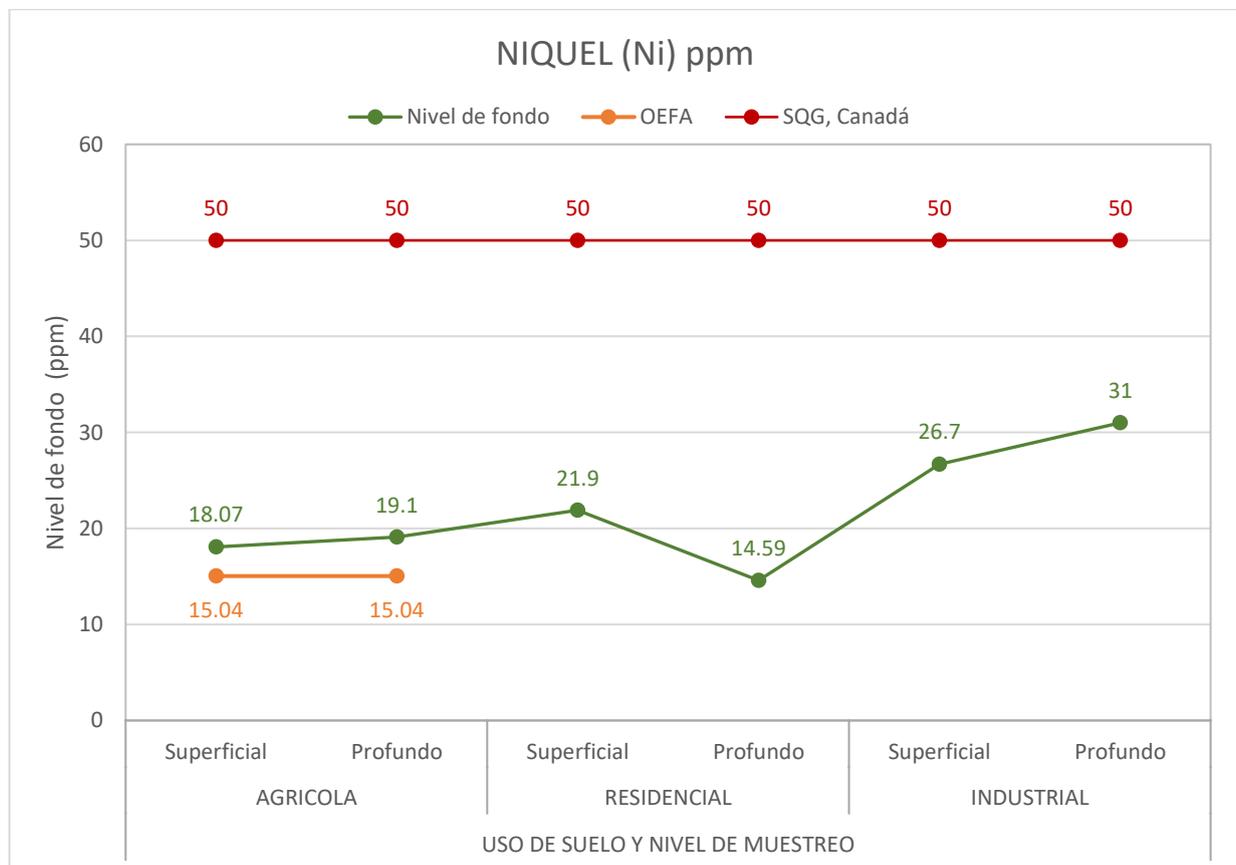
## 7.6 NÍQUEL (Ni)

Considerado como elemento esencial para los organismos en el suelo. Kabata & Mukherjee (2007) señalan que alrededor del mundo la concentración de níquel en los suelos esta entre 0.2 a 450 ppm, los resultados del presente estudio se encuentran sobre mencionado rango. El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) no presenta niveles de fondo para el elemento traza Cobre, el estándar internacional de Canadá (SQG) es el comparativo de los niveles de fondo establecidos en el presente estudio. El SQG de Canadá (2007) presenta el valor de nivel de fondo de 50 ppm para los usos de suelo Agrícola, Residencial e Industrial, los resultados de la presente investigación no superan los estándares ambientales de Canadá en ninguno de los usos de suelos. El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación



y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), establece un nivel de fondo para suelos agrícolas de 15.04 ppm, este valor al ser comparado con los niveles de fondo determinados en el presente estudio se ve superado en el nivel superficial de suelos agrícolas de 3 a 4 unidades ppm y en el nivel profundo de suelos agrícolas es superado por 4 a 5 unidades ppm (ver Figura 7.5). El resultado obtenido para suelos agrícolas a nivel superficial (18.07 ppm) y en profundidad (19.10 ppm) en el presente estudio muestra una variación producto del área de estudio y la cantidad de muestras empleadas.

Figura 7.5 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Níquel (Ni), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

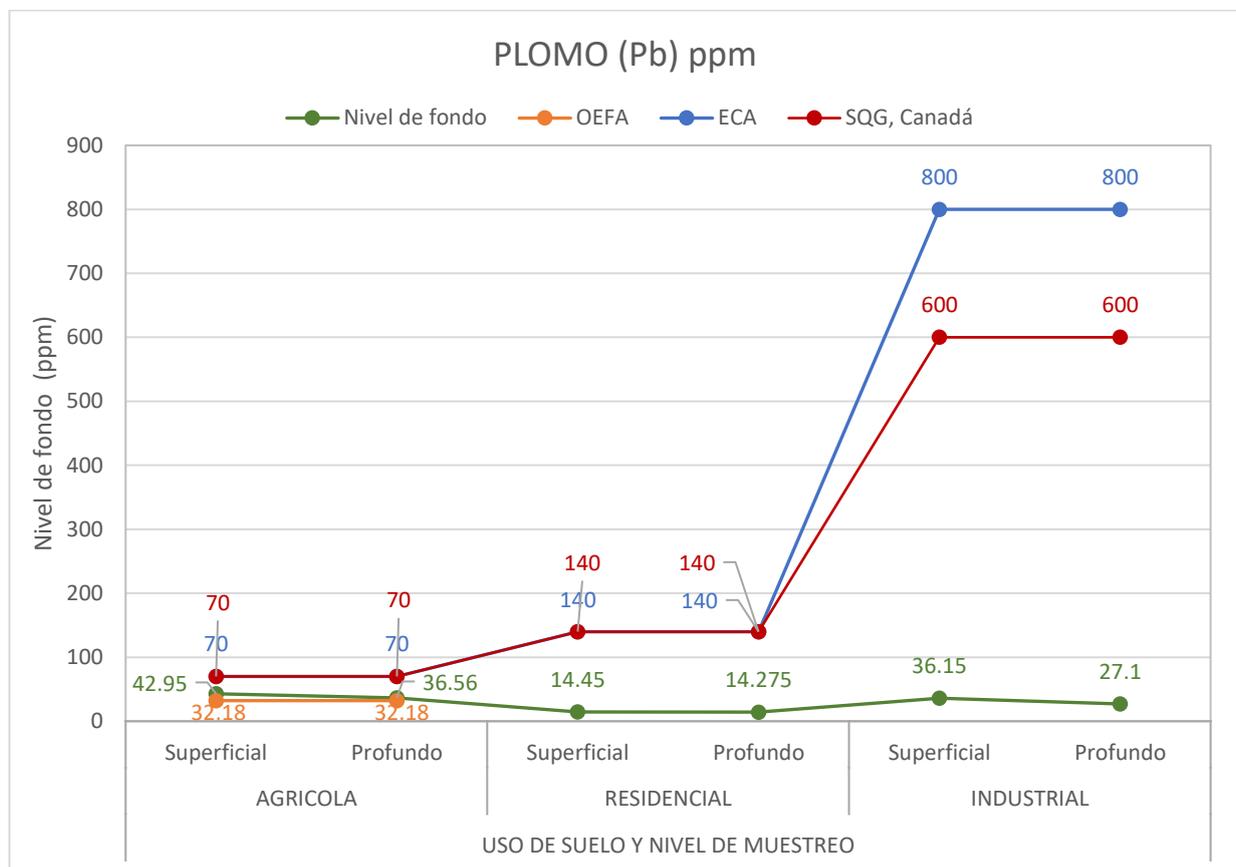
## 7.7 PLOMO (Pb)

Elemento traza conocido por ser un contaminante ambiental, nocivo para los ecosistemas, animales y humanos. Los niveles de fondo determinados en el presente estudio para suelos de uso Agrícola, Residencial e Industrial no superan los valores establecidos en el ECA de suelos de Perú (2017), lo cual cumple con la hipótesis planteada. De igual forma, no se superan los niveles establecidos en el SQG de



Canadá, es necesario poner en relevación que los niveles de fondo para suelos de Agrícola Y Residencial son los mismos en el ECA de suelos de Perú y el SQG de Canadá, exceptuando los suelos industriales. El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), establece un nivel de fondo para suelos agrícolas de 32.18 ppm, este valor al ser comparado con los niveles de fondo determinados en el presente estudio se ve superado en el nivel superficial (42.95 ppm) de suelos agrícolas por 10 a 11 ppm y en el nivel profundo (36.56 ppm) de suelos agrícolas es superado por 4 a 5 unidades ppm (ver Figura 7.6).

Figura 7.6 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Plomo (Pb), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

## 7.8 ANTIMONIO (Sb)

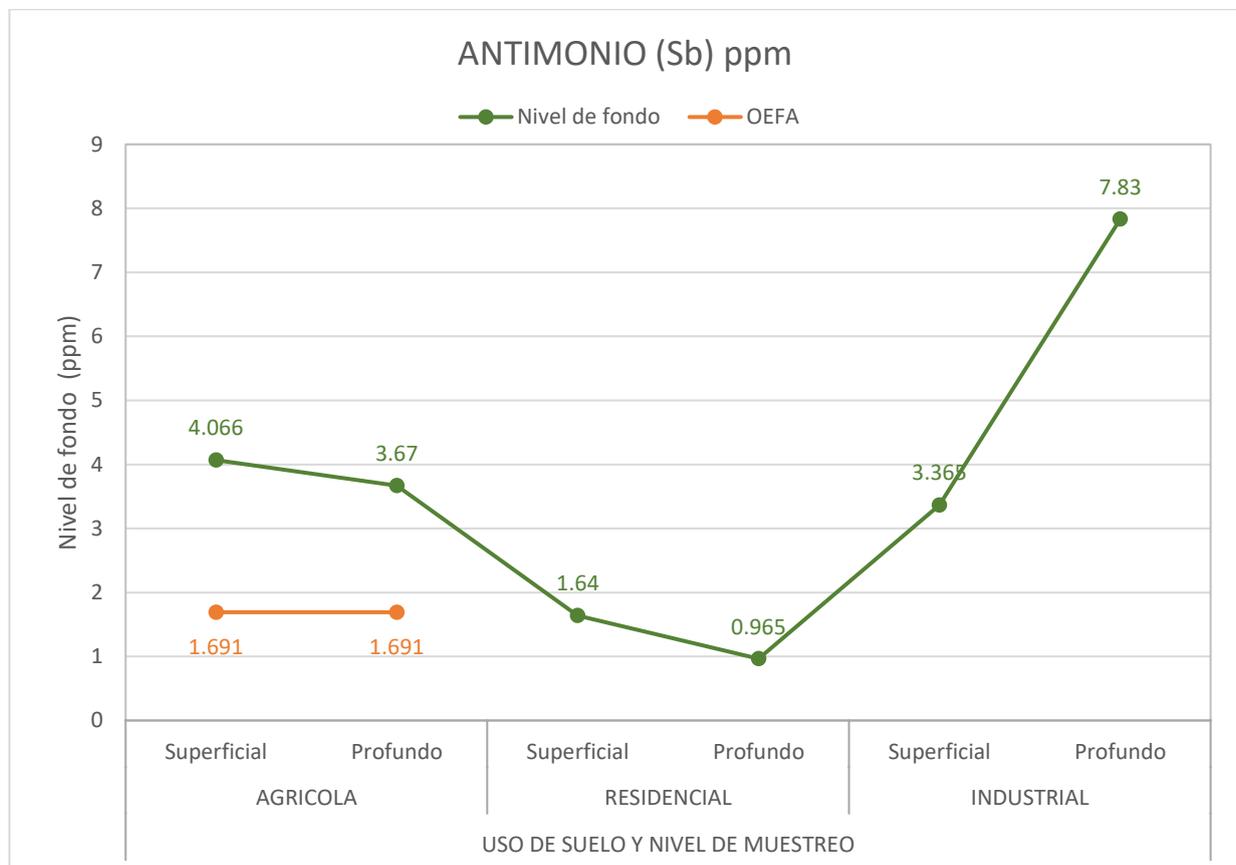
Elemento traza distribuido en pequeñas cantidades en la corteza terrestre, por lo general no se pueden medir en el medio ambiente (ATSDR, 1992).

El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), establece un nivel de fondo para suelos



agrícolas de 1.691 ppm, este valor al ser comparado con los niveles de fondo determinados en el presente estudio se ve superado en el nivel superficial (4.066 ppm) de suelos agrícolas por 3 ppm y en el nivel profundo (3.67 ppm) de suelos agrícolas es superado por 2 unidades ppm, esta variación puede darse por la cantidad de muestras empleadas en el presente estudio (ver Figura 7.7). El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) no establece niveles de fondo para los suelos agrícolas, suelos residenciales ni suelos industriales, de igual forma no se establecen niveles de fondo para el elemento traza Antimonio en suelos canadienses.

Figura 7.7 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Antimonio (Sb), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).



Fuente: Elaboración Propia

## 7.9 ESTAÑO (Sn)

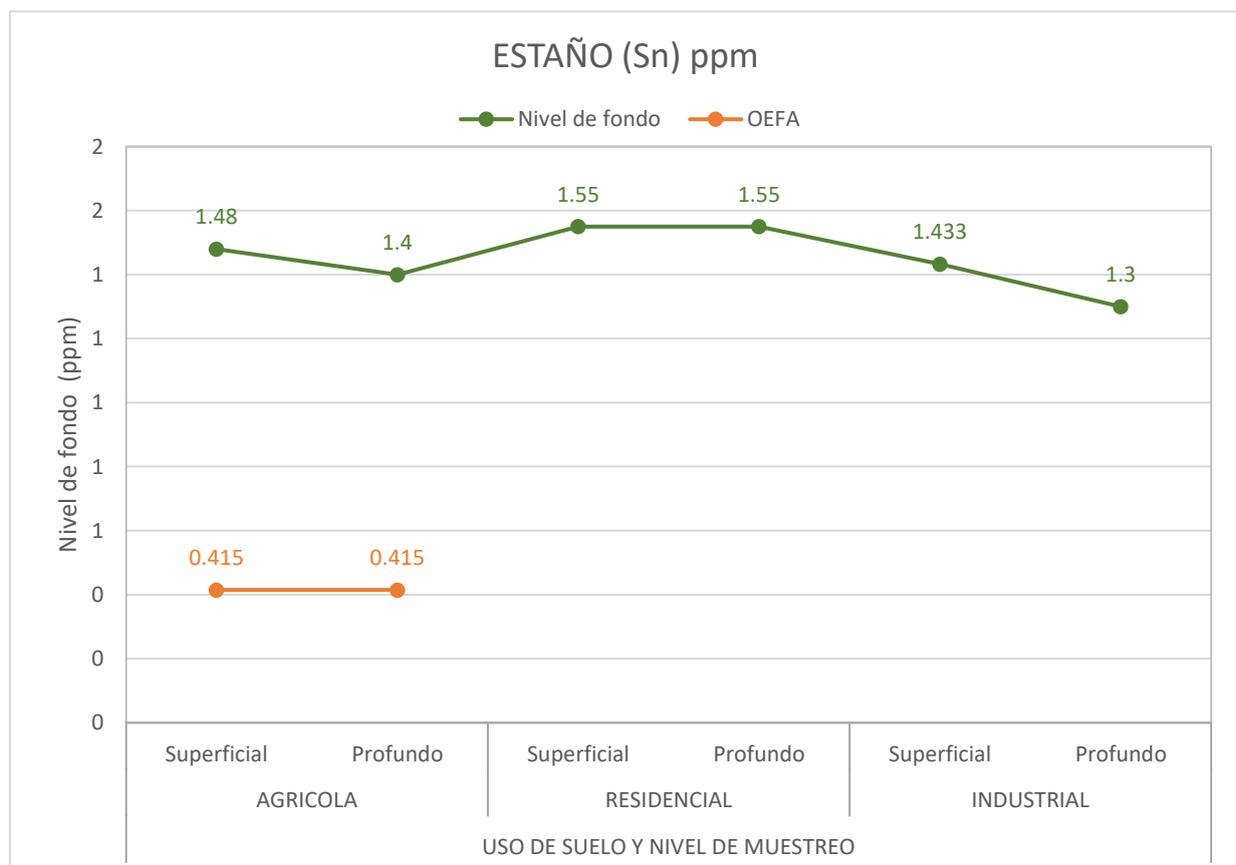
El estaño puede llegar a ocasionar dolores abdominales, anemia y problemas de hígado y riñón al ser consumido en grandes cantidades. El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), establece un nivel de fondo para suelos agrícolas de 0.415 ppm, este valor al ser comparado con los niveles de fondo determinados en el presente



estudio se ve superado en el nivel superficial (1.48 ppm) de suelos agrícolas por 1.075 ppm y en el nivel profundo (1.40 ppm) de suelos agrícolas es superado por 0.985 unidades ppm, esta variación puede darse por la cantidad de muestras empleadas en el presente estudio y el procesamiento estadístico (ver Figura 7.8). El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) no establece niveles de fondo para los suelos agrícolas, suelos residenciales ni suelos industriales, de igual forma no se establecen niveles de fondo para el elemento traza Antimonio en suelos canadienses.

Kabata & Mukherjee (2007), indican que la distribución de estaño sobre la corteza tiene un promedio de 2 ppm y presenta un incremento de concentración sobre rocas ígneas acidas y sedimentos arcillosos; en suelos agrícolas de Japón se encuentra el nivel de fondo en un rango de 2 a 3.1 ppm, estos valores al ser comparado con los niveles de fondo de suelos agrícolas determinados en el presente estudio se encuentran por debajo de los resultados de suelos agrícolas de Japón.

Figura 7.8 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Estaño (Sn), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio



de la OEFA (2017).

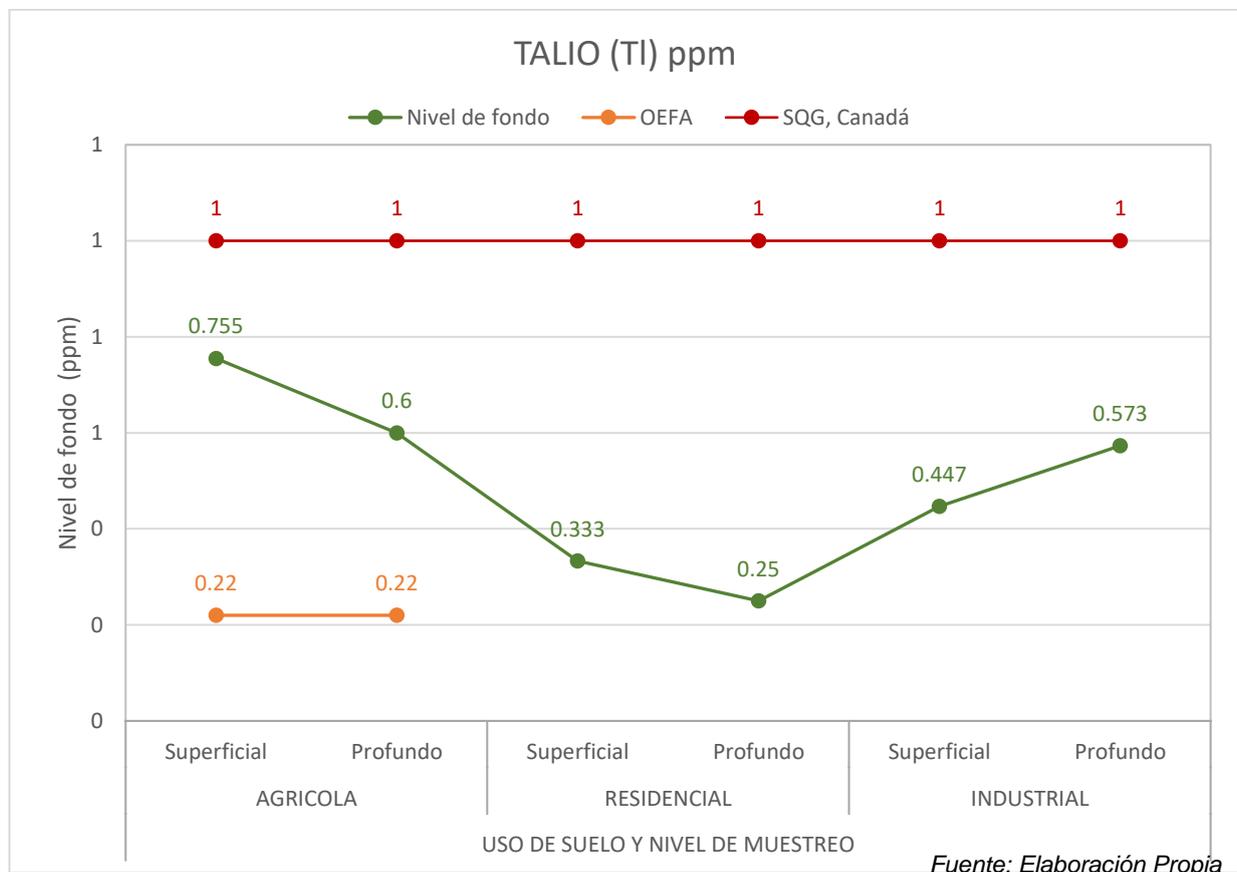
Fuente: Elaboración Propia



### 7.10 TALIO (TI)

El ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) no presenta niveles de fondo para el elemento traza Cobre, el estándar internacional de Canadá (SQG) es el comparativo de los niveles de fondo establecidos en el presente estudio. Los niveles de fondo determinados en el presente estudio no superan los niveles de fondo establecidos en el SQG de Canadá (2007) en donde se establece el valor de 1 ppm para los tres tipos de uso de suelo estudiados. El estudio “Evaluación ambiental temprana realizada por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental” (OEFA, 2017), establece un nivel de fondo para suelos agrícolas de 0.22 ppm, este valor al ser comparado con los niveles de fondo determinados en el presente estudio se ve superado en el nivel superficial (0.755 ppm) de suelos agrícolas por 0.5 ppm y en el nivel profundo (0.6 ppm) de suelos agrícolas es superado por 0.4 unidades ppm, el bajo número de muestras obtenidas en el estudio de la OEFA hacen que se tenga un resultado más ajustado de nivel de fondo (ver Figura 7.9).

Figura 7.9 Gráfico de líneas de valores de Nivel de Fondo del elemento traza Talio (TI), determinado en superficie y profundidad de suelos agrícolas, residenciales e industriales. Y los valores de nivel de fondo establecidos en SQG de Canadá (2007), el ECA de suelos de Perú (MINAM, 2017) y el estudio de la OEFA (2017).





## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES

**Primera**, los niveles de fondo determinados en el presente estudio indican que los elementos traza Arsénico en suelos agrícolas y Cadmio en suelos industriales presentes en las muestras tienen valores elevados en comparación a los valores establecidos por el ECA de suelos del Perú (MINAM,2017). Lo que podría influenciar negativamente sobre los residentes de la zona y los usos de los suelos.

**Segunda**, en los suelos agrícolas a nivel de superficie el nivel de fondo determinado fue: As = 53.55 ppm, Cd = 0.56 ppm, Cu = 68.55 ppm, Hg = 0.068 ppm, Ni = 18.07 ppm, Pb = 42.95 ppm, Sb = 4.066 ppm, Sn = 1.480 ppm, y Tl = 0.755 ppm; en los suelos agrícolas a nivel de profundidad el nivel de fondo determinado fue: As = 49.70 ppm, Cd = 0.37 ppm, Cu = 64.27 ppm, Hg = 0.060 ppm, Ni = 19.10 ppm, Pb = 36.56 ppm, Sb = 3.67 ppm, Sn = 1.40 ppm, y Tl = 0.6 ppm. Los niveles de fondo determinados para los elementos traza Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Antimonio, Estaño y Talio fueron más altos en las muestras superficiales con respecto a las muestras tomadas en profundidad. En comparación a lo establecido en el ECA de suelos del Perú, para el Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo, se concluye que el nivel de Arsénico presente en suelos agrícolas superficiales supera en 4 unidades ppm. Lo que podría influenciar negativamente sobre los residentes de la zona presentando una posible contaminación.

**Tercera**, en los suelos residenciales a nivel de superficie el nivel de fondo determinado fue: As = 24.70 ppm, Cd = 0.175 ppm, Cu = 101.39 ppm, Hg = 0.015 ppm, Ni = 21.90 ppm, Pb = 14.45 ppm, Sb = 1.64 ppm, Sn = 1.55 ppm, y Tl = 0.333 ppm; en los suelos agrícolas a nivel de profundidad el nivel de fondo determinado fue: As = 20.00 ppm, Cd = 0.09 ppm, Cu = 95.95 ppm, Hg = 0.010 ppm, Ni = 14.59 ppm, Pb = 14.275 ppm, Sb = 0.965 ppm, Sn = 1.55 ppm, y Tl = 0.25 ppm. En los suelos residenciales los niveles de fondo determinados de los elementos traza Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Antimonio y Talio fueron más altos en las muestras superficiales con respecto a las muestras tomadas en profundidad. Los niveles de fondo determinados no superaron a los valores establecidos en el ECA de suelos del Perú para el Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo.



**Cuarta**, en los suelos industriales a nivel de superficie el nivel de fondo determinado fue: As = 30.55 ppm, Cd = 0.24 ppm, Cu = 98.40 ppm, Hg = 0.040 ppm, Ni = 26.70 ppm, Pb = 36.15 ppm, Sb = 3.365 ppm, Sn = 1.433 ppm, y Tl = 0.447 ppm; en los suelos agrícolas a nivel de profundidad el nivel de fondo determinado fue: As = 107.5 ppm, Cd = 0.29 ppm, Cu = 90.77 ppm, Hg = 0.040 ppm, Ni = 31.00 ppm, Pb = 27.10 ppm, Sb = 7.830 ppm, Sn = 1.300 ppm, y Tl = 0.573 ppm. En los suelos industriales los niveles de fondo determinados de los elementos traza Arsénico, Níquel, Antimonio y Talio fueron más altos en las muestras profundas con respecto a las muestras tomadas en superficie. Los niveles de fondo determinados no superaron a los valores establecidos en el ECA de suelos del Perú para el Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo.



## CAPITULO IX

### RECOMENDACIONES

**Primera**, a partir de los hallazgos del presente estudio se recomienda un monitoreo cada cierto tiempo de los niveles de fondo por parte de las entidades competentes a nivel local y regional. Para observar la evolución de concentración de los niveles de fondo potencialmente tóxicos para la salud en los suelos.

**Segunda**, en los suelos agrícolas con cercanías a zonas mineras, se recomienda el monitoreo de niveles de fondo de elementos traça potencialmente tóxicos, para poder cuantificar el grado de concentración en las plantas comestibles y evitar su ingesta en la población general. Asimismo, se recomienda estudios futuros de evaluación de impacto de la concentración de los elementos traça en el crecimiento de las plantas y su contenido nutricional.

**Tercera**, en zonas residenciales se recomienda un estudio más a detalle de los suelos para observar si existe un riesgo en la salud por exposición a elementos traça potencialmente tóxicos.

**Cuarta**, en zonas industriales se recomienda una evaluación activa de los niveles de fondo de elementos traça de los suelos aledaños al área de influencia, para poder evaluar el desarrollo de la concentración de los elementos traça potencialmente tóxicos, y así poder tomar medidas frente a potenciales riesgos en la salud y disminuir el impacto socioambiental.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ahrens, L. (1954). The lognormal Distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Department of Geology and Geophysics, Massachusetts Institute of Technology. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1954*, Vol. 5. Pergamon Press Ltd., London.
- Alarcón-Corredor, O. M. (2009). Los elementos traza. *Revista Medica de la Extensión Portuguesa - ULA*, 107-124.
- Ander, E. L., Johnson, C. C., Cave, M. R., Palumbo-Roe, B., Nathanail, C. P., & Lark, R. M. (2013). Methodology for the Determination of Normal Background Concentrations of Contaminants in English Soil. *Science of The Total Environm*, 454–455:604–18. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.005
- ATSDR. (1992). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de Reseña Toxicológica del Antimonio (en inglés): [www.atsdr.cdc.gov/es](http://www.atsdr.cdc.gov/es)
- ATSDR. (2004). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Recuperado el 2021, de Reseña Toxicológica del Cobre (en inglés): [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs132.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html)
- ATSDR. (2005). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de Resumen de Salud Pública, Estaño y compuestos de Estaño: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs55.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs55.html)
- Baeuml, J., Bose-O'Reilly, S., Gothe, R. M., Lettmeier, B., Roider, G., Drasch, G., & Siebert, U. (2011). *Human Biomonitoring Data from Mercury Exposed Miners in Six Artisanal Small-Scale Gold Mining Areas in Asia and Africa*. Obtenido de *Minerals*, 1(1), 122–143. MDPI AG: <http://dx.doi.org/10.3390/min1010122>
- Biégo, G., Joyeux, M., Hartemann, P., & Debry, G. (1999). Determination of dietary tin intake in an adult French citizen. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 36:227-232. doi:10.1007/s002449900465
- Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. CYTED.
- Caro-Moreno, D., & Jiménez-Cantazino, F. A. (septiembre-diciembre de 2013). Estudio de la concentración de elementos traza toxicos de los depositos de lodos, los suelos y las plantas en Mina La Solana, Almeria (España). *ECOSISTEMAS*, 22(3), 101-110.



- Castillo Fernández, M., Chávez Quijada, M., Gallardo Marticorena, M., Zegarra Miranda, L., Del Carpio Lazo, D., & Gómez Urquizo, J. (2011). Valle de Tambo-Islay: Territorio, agua y derechos locales en riesgo con la minería a tajo abierto. (R. MUQUI, Ed.) Lima. Obtenido de [http://cooperacion.org.pe/wp-content/uploads/2019/07/Libro\\_Valle\\_de\\_Tambo-Islay.pdf](http://cooperacion.org.pe/wp-content/uploads/2019/07/Libro_Valle_de_Tambo-Islay.pdf)
- Chen, M., LQ, M., & WG, H. (1999). Baseline Concentrations of 15 Trace Elements in Florida Surface Soils. *Journal of Environmental Quality*, Volume 28, no. 4, July-August, 1999.
- Cheng, H., Li, K., Li, M., Yang, K., Liu, F., & Cheng, X. (2014). Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China. *Earth Sci. Front*, 265-306.
- Chira, J. E. (2021). Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 47-56.  
doi:<https://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20643>
- Da Silva, E., Gao, P., Xu, M., Guan, D., Tang, X., & Ma, L. (2020). Background concentrations of trace metals As, Ba, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Se, and Zn in 214 Florida urban soils: Different cities and land uses. *Environmental Pollution, ELSEVIER*, 264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114737>
- Dallal, G., & Wilkinson, L. (1986). An Analytic Approximation to the Distribution of Lilliefors's Test Statistic for Normality. *American Statistician. AMER STATIST*, 40. 294-296. doi:10.1080/00031305.1986.10475419
- Díaz, W. (2016). Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM*, 19(38), 103-110.
- Drash, G., Horvart, M., & Stoeppler, M. (2004). Mercury. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoepper M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2nd ed. Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/9783527619634
- Eckel, W., & Langley, W. (1988). A background-based ranking technique for assessment of element enrichment in soils at hazardous waste sites. *The Hazardous Materials Control Research Institute, Washington, DC*, 282-285.
- Fergusson, J. (1990). *The heavy metals: Chemistry, environmental impact and health effects*. New York: Pergamon Press.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados.



- Macla Revista de la sociedad Española de Mineralogía*. Obtenido de [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf)
- Gough, L. P. (1993). *Understanding our fragile environment: lessons from geochemical studies*. Washington, DC, U.S., Gov: USGS Circular 1105.  
doi:<https://doi.org/10.3133/cir1105>
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación, S. A.
- Hale, M. (1981). Pathfinder applications of arsenic, antimony and bismuth in geochemical exploration. *ELSEVIER*, 15, 307-323.  
doi:[https://doi.org/10.1016/0375-6742\(81\)90071-6](https://doi.org/10.1016/0375-6742(81)90071-6)
- Hooda, P. S. (2010). *Trace Elements in Soils* (first ed. ed.). Chichester, United Kingdom.: John Wiley & Sons Ltd.
- INGEMMET. (Enero de 1963). *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*. Obtenido de Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clesesí (Hojas 35-s y 35-t): <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/125>
- INGEMMET. (1968). *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*. Obtenido de Geología del cuadrángulo de Mollendo y La Joya (Hojas 34-r, 34-s):  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/137>
- INGEMMET. (1978). *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*. Obtenido de Geología del cuadrángulo de Puquina, Omate, Huaitire, Mazo Cruz, Pizacoma. Hojas: 34-t, 34-u, 34-v, 34-x, 34-y; Boletín 29A:  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/148>
- INGEMMET. (2017). *Prospección Geoquímica de segunda Fase en la Cuenca Tambo: Subcuencas Medio Tambo, Coralaque, Medio alto Tambo, Ichuña y Alto Tambo*. Obtenido de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Boletín Serie B: Geología Económica N°43.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (1995). *Geología del Perú*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 55.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2020). *Hidrogeología de la Cuenca del Río Tambo (1318). Regiones de Arequipa, Moquegua y Puno*. Lima, Perú: INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología N°7.
- Jiménez, R., Conde, B., Martín, J., & García, R. (enero-junio de 2010). Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafocimicasde base de suelos seleccionados en Castilla-La Mancha. *Estudios Geológicos*, 66(1), 123-130. doi:10.3989/egeol.40214.119



- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace elements from soil to human*. Springer Science & Business Media.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (Vol. Third ed.). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Loaiza, J. (2010). El recurso Suelo. *Suelos Ecuatoriales*, 41(1), 6–18. . Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Loaiza\\_Usuga/publication/301291240\\_THE\\_SOIL\\_AS\\_A\\_RESOURCE/links/570fc70e08ae19b18693831e/THE-SOIL-AS-A-RESOURCE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Loaiza_Usuga/publication/301291240_THE_SOIL_AS_A_RESOURCE/links/570fc70e08ae19b18693831e/THE-SOIL-AS-A-RESOURCE.pdf)
- Loayza, R. (10 de octubre de 2015). *Consortio de Universidades\_ III Conferencia Académica*. Obtenido de La Minería en el Perú: ¿Qué hacer con ellos?: <http://www.metasbicentenario.consortio.edu.pe/mineria-y-ambiente/extenso-danos-ambientales-de-la-mineria-en-el-peru-que-hacer-con-ellos/>
- Louise Ander, E., Cave, M., R. Cave, M., Palumbo-Roe, B., C., P., & Murray Lark, R. (2013). Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. *Science of The Total Environment*, 454-455, 604-6018.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.005>
- Ministerio de Agricultura. (1995). *Mapa Ecológico del Perú; Guía explicativa*. Lima-Perú: INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA).
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (02 de diciembre de 2017). DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. *El Peruano*. pp 12-15. Lima.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (sabado 02 de diciembre de 2017). DECRETO SUPREMO N° 012-2017-MINAM, Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados. *El Peruano*. pp 15-21. Lima.
- Nriagu, J., & Pacyna, J. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *NATURE* 333, 134-139.  
doi:<https://doi.org/10.1038/333134a0>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2017). *Evaluación Ambiental Temprana en el area de influencia del proyecto Tía María y zonas aledañas, en los distritos de Cocachacra, Deán Valdivia, Punta de Bombón y Mejía, Provincia de Islay, Departamento de Arequipa, Durante el año 2017*. Informe N°078-2017-OEFA/DE-SDCA-CMVA, OEFA. Obtenido de <https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/100/Evaluaci%c3>



%b3n-ambiental-temprana-Tia\_Maria-2017-

Informe.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ramos, J. (2002). *Estudio de la Contaminación por Metales Pesados y otros Procesos de degradación química en los Suelos de Invernadero del Poniente Almeriense*. Universidad de Almería. Facultad de Ciencias experimentales. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Reiman, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriaes, A., Négrel, P., & ... Sadeghi, M. (2018). GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. *Applied Geochemistry, SciencDirect*, Volume 88, Part B, 302-318.
- Reimann, C., & Garrett, R. (2005). Geochemical background – concept and reality. *Science of The Total Environment*, 350(Issues 1-3), 12-27.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047>
- Reimann, C., Filzmoser, P., & Garret, R. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *ELSEVIER, Science of the Total Environment* 346, 1-16.
- Romero, A., Galán, E., González, I., Miras Ruiz, A., Aparicio, P., Barba-Brioso, C., . . . Fernández-Caliani, J. (2014). *Mineralogía Aplicada al estudio de suelos contaminados por elementos traza*. (M. 96., Ed.)
- Salminen, R., & Tarvainen, T. (1997). The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland. *ELSEVIER*, 91-98.
- Santos-Francés, F., Martínez-Graña, A., Alonso Rojo, P., & García Sánchez, A. (2017). Geochemical background and baseline values determination and spatial distribution of heavy metal pollution in soils of the andes mountain range (Cajamarca-Huancavelica, Peru). *Int. J. Environ. Res. Publ. Health*, 14(8), 859.  
doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph14080859>
- Scholl, W. (1980). Bestimmung von Thallium in verschiedenen anorganischen und organischen Matrices. Ein einfaches photometrisches Routineverfahren mit Brillantgrün. *Landwirtsch Forsch*, 275-286.
- SENAMHI. (Diciembre de 2020). *Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Perú*. Obtenido de CLIMAS DEL PERÚ, Resumen ejecutivo, Mapa de Clasificación Climática del Perú:  
<https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f>



18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4

- Shacklette, H., & Boerngen, J. (1984). Element concentration in soils and other surficial materials of the conterminous United States. U.S. *Geol Survey Prof Papers* 1270, 1-105.
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). *Análisis de la Contaminación del Suelo: Revisión de la Normativa y Posibilidades de Regulación Económica*. Universidad de Medellín, Colombia.
- Takeda, A., Kimura, K., & Yamasaki, S.-I. (2004). Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use. *Geoderma* 119, 291-307.
- Thu Dung, T., Cappuyns, V., Swennen, R., & Ky Phung, N. (2013). From geochemical background determination to pollution assessment of heavy metals in sediments and soils. *Springer*, 12, 335-353. doi:10.1007/s11157-013-9315-1
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. (6. Addison-Wesley, Ed.)
- Ugarte, M. A. (2018). *Gestión estatal del conflicto socio-ambiental de "Tía María" en Arequipa: análisis del periodo 2007-2017* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Lima: Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Valencia, M., & Chacaltana, C. (2000). Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de La Joya (34-S). Escala 1:50 000, Informe inédito. Lima, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Wang, S., Cai, L. M., Wen, H. H., Luo, J., Wang, Q. S., & Liu, X. (2019). Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical county-level city of Guangdong Province, China. *Science of the Total Environment*, ELSEVIER, 92-101.
- Zinck, J. (2012). *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation.





**ANEXO 2: Resumen de colecta de datos tomados en campo (Levantamiento de suelos):**

CARACTERIZACIÓN MORFOPEDEOLÓGICA Suelo Cerro Aguila 1 (CA1)		Ficha N° : GR36A-CA-006	
<b>Caracterización Ecogeográfica</b>			
Departamento :	Arequipa :	Distrito :	Cocachacra :
Provincia :	Islay :	Altitud (msnm) :	1035 :
Ubicación (Coordenadas UTM - WGS 84)		Esle :	27 6072 Norte : 8133521
Grupo Suelo de Referencia (WRB - Primer Nivel)		Clasificación WRB - Segundo Nivel	
Unidad de suelo		Uso de la tierra	: Sin uso ni manejo
<b>Características Edafológicas</b>			
Paisaje Geomorfológico	: Collina	Zona de vida	: -
Relieve/Morfología	: Collina	Horizonte de diagnóstico	: -
Litología/Facies	: Areniscas (arcosa y grauwacas), ensidias y aglomerados	Propiedad de diagnóstico	: *
Forma de terreno	: Ladera empinada	Material de diagnóstico	: -
Pendiente	: F	Agua freática	: -
Material Madre	: Residual	Drenaje	: algo excesivo
Clima	: -	Proceso morfogenético	: Disposición por el viento
Vegetación	: Siempre viva (Herbáceas)	Permeabilidad	: Rápida
		Fragmentos gruesos superficiales	: Abundantes
		Calificadores principales	: -
		Calificadores suplementarios	: *
		Profundidad efectiva (cm)	: 8
		Clase textural	:
		Reacción del suelo (pH)	:
		Fertilidad del suelo	:
		Clase de inclinación	: c
<b>Descripción</b>			
Horiz.	Prof. (cm)	<p>C1 0-15 Arenosa, de color gris (10R 6/1) en seco; sin estructura (gran simple) - suelto; con desarrollo radicular de aspecto normal muy fino; pocas; con abundantes presencia de fragmentos (grava media) de forma plano y angular, ligeramente intemperado; permeabilidad rápida y drenaje algo excesivo. Límite de horizonte contacto lítico irregular al.</p>	
	>15		
<b>Fuente: INGENMET</b>			





“Niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, subcuencas Bajo Tambo y Linga, Arequipa-Perú, 2018”

CARACTERIZACIÓN MORFOEDOLÓGICA Suelo Cachendo 2 (Cch2)		Ficha N° : GR36A-CA020	
			
Caracterización Ecogeográfica			
Departamento	: Arequipa	Distrito	: Molleño
Provincia	: Islay	Altitud (msnm)	: 1113
Ubicación (Coordenadas UTM - WGS 84)		Este	: 205031
		Norte	: 8136424
Grupo Suelo de Referencia (WRB - Primer Nivel)		Segundo Nivel	: -
Unidad de suelo		Uso de la tierra	: Sin uso ni manejo
Características Edafológicas			
Paisaje Geomorfológico	: Planicie	Zone de vida	: -
Relieve/Modelado	: Llanura	Horizonte de diagnóstico	: -
Litología/Paño	: Aluvial	Propiedad de diagnóstico	: -
Forma de terreno	: Ligeramente inclinada	Materia de diagnóstico	: -
Pendiente	: B	Clase textural	: -
Materia Madre	: Aluvial	Reacción del suelo (pH)	: -
Clima	: -	Fertilidad del suelo	: -
Vegetación	: -	Clase de inclinación	: a
Fragmentos gruesos superficiales : Abundantes			
Calificadores principales : -			
Calificadores suplementarios : -			
Profundidad efectiva (cm) : -			
Clase de erosión : -			
Reacción del suelo (pH) : -			
Fertilidad del suelo : -			
Clase de inclinación : a			
Descripción			
Horiz.	Prof (cm)	Descripción	
C1	0-30	Arenosa, de color gris amarillado claro (DPR 6/2) en seco; sin estructura (masiva) - suelta; con abundantes presencia de fragmentos (grava fina, mediana y gruesa) de forma plano, angular y subredondeado; permeabilidad moderada y drenaje bueno. Límite de horizonte difuso irregular al.	
2C2	30-75	Arenosa, de color marrón muy pálido (DPR 7/3) en seco; sin estructura (masiva) - ligeramente dura; con abundantes presencia de fragmentos (grava fina, mediana y gruesa) de forma plano, angular y subredondeado; permeabilidad moderada y drenaje bueno. Límite de horizonte gradual irregular al.	
2C3	75-120 +	Arenosa, de color pardo claro (DPR 6/3) en seco; sin estructura (masiva) - suelta; con abundantes presencia de fragmentos (grava fina, mediana y gruesa) de forma plano, angular y subredondeado; permeabilidad moderada y drenaje bueno.	

Fuente: INGENMET



**ANEXO 3: Cronograma de actividades:**

<b>ETAPA</b>	2018				2021-2023									
	MESES													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Etapa de gabinete (confección de mapas, recolección bibliográfica, estudio de antecedentes, etc.)														
Etapa de campo (Levantamiento de perfiles de suelos, descripción y llenado de ficha de recolección, muestreo de suelos y etiquetado),														
Envío y resultados de las muestras que se enviarán a laboratorios especializados														
Interpretación y análisis de datos de campo, elaboración de mapas y gráficos finales.														
Redacción de Tesis														

*Fuente: Elaboración Propia*

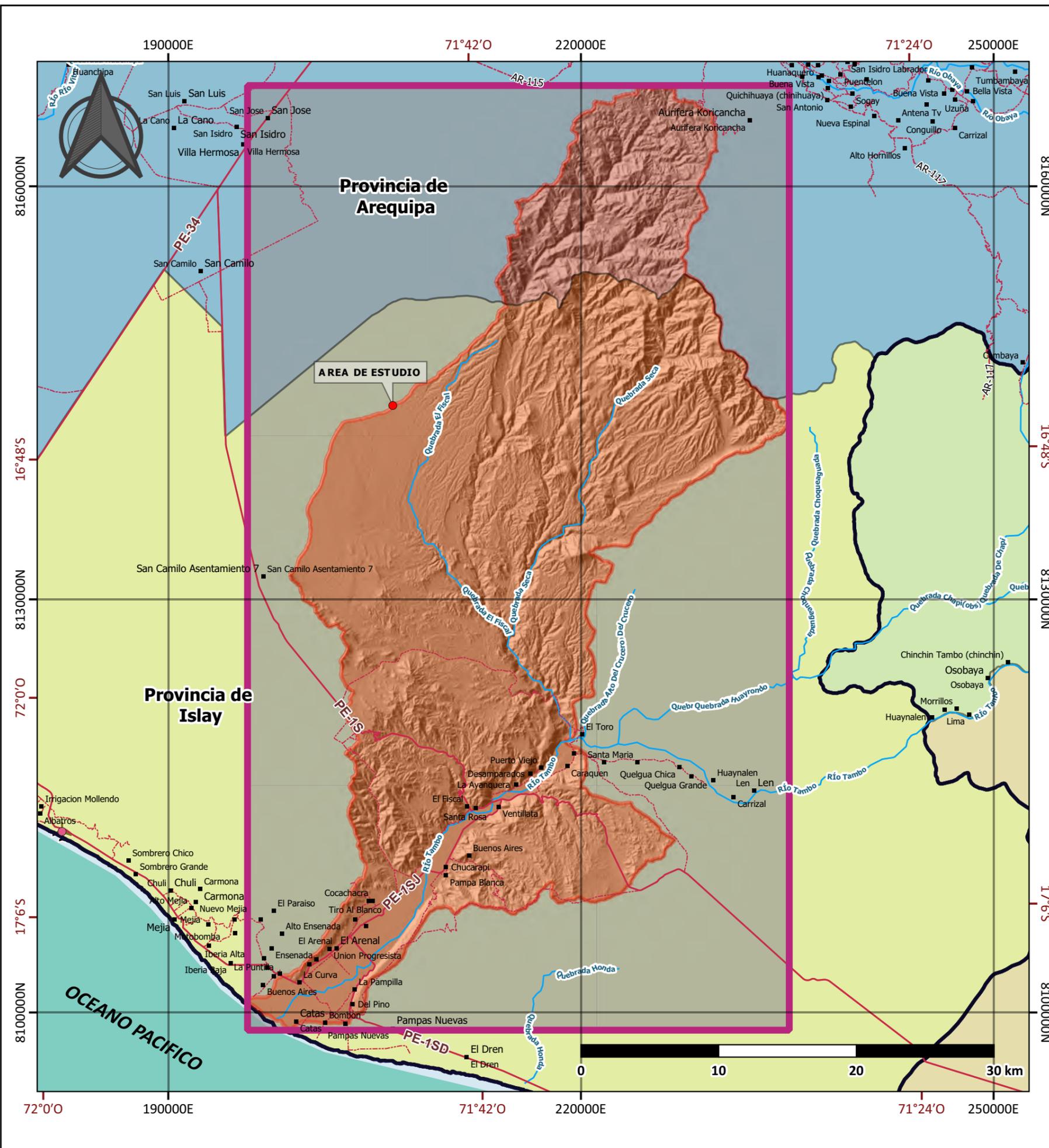
**ANEXO 4: Presupuesto para el desarrollo de la investigación**

El estudio fue realizado dentro del programa Carta Nacional de suelos, a escala 1:50,000, “Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú” (INGEMMET).

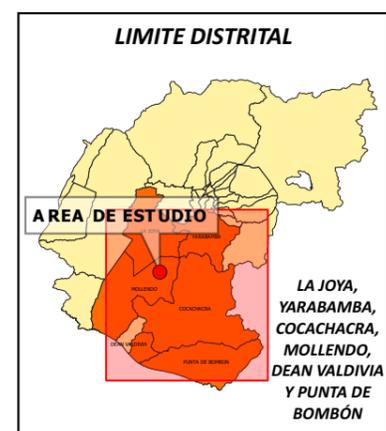
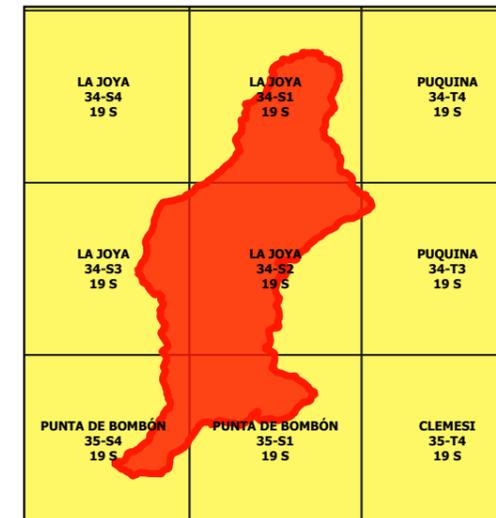
**ANEXO 5:** Matriz de consistencia del estudio “Niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, subcuencas Bajo Tambo y Linga, Arequipa-Perú

<b>“NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018”</b>							
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>OPERACIONALIDAD</b>			<b>METODOLOGIA</b>	
			<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>		
<b>¿Cuáles son los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, subcuencas Bajo Tambo y Linga, Arequipa?</b>	<b>Objetivo General:</b> Determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo, subcuencas Bajo Tambo y Linga - Arequipa,	<b>Hipótesis general</b> La determinación de niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud según el uso de suelo en el área que abarca las subcuencas Bajo Tambo y Linga podrían indicar elevadas concentraciones frente a los niveles establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del suelo (ECAS) según el uso de suelo del Perú y estos caracterizaran los niveles de fondo del área de investigación.	Nivel de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud	Geomorfología	Paisaje Geomorfológico	<b>Método:</b> Se trata de un estudio cuantitativo, observacional de tipo transversal analítico, debido a que solo se midieron las variables en una sola ocasión por cada punto de muestreo.  <b>Procedimiento:</b> <b>Etapa 1:</b> Trabajo de Gabinete <b>Etapa 2:</b> Trabajo de Campo <b>Etapa 3:</b> Trabajo de Gabinete (Postcampo)  <b>Técnicas:</b> Para la construcción de la base de datos, la limpieza y codificación de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel 2019. Asimismo, los datos se analizaron utilizando el lenguaje de programación de R-Project 4.0.5 bajo el entorno de desarrollo (IDE) de RStudio versión 1.4.1106. Para el análisis descriptivo se utilizó las frecuencias y los porcentajes en las variables cualitativas y para las numéricas se evaluó primeramente los supuestos de normalidad, usando la prueba de Shapiro y cuantiles, para después según la distribución hallada seleccionar la mejor medida de tendencia central y dispersión para determinar los niveles de fondo.	
	<b>Objetivos Específicos:</b> a. Determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso agrícola. b. Calcular los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso industrial. c. Determinar los niveles de fondo de elementos traza potencialmente tóxicos para la salud en suelos superficiales y profundos con uso residencial				Relieve Modelado		
					Pendiente		
				Ecología	Zonas de vida		
				Geología	Lito-estratigrafía		
				Uso de Suelo	Suelo agrícola		Estado de uso de suelo, regido por la actividad agrícola.
					Suelo industrial		Estado de uso de suelo, regido por la actividad industrial o extractiva.
					Suelo residencial		Estado de uso de suelo, regido por la actividad residencial.
					Horizonte del suelo		Nivel de profundidad
					Nivel de Fondo		Concentracion de elementos traza

Fuente: Elaboración Propia



**HOJAS AL 50K ADYACENTES**



**SIMBOLOGIA**

- Centros Poblados
- Rios y Quebradas
- Red vial nacional
- - - Red vial departamental
- - - Red vial vecinal
- ▭ Limite Departamental
- ▭ Area de Estudio

**LEYENDA**

Provincia:

- Arequipa
- General Sánchez Cerro
- Islay
- Mariscal Nieto

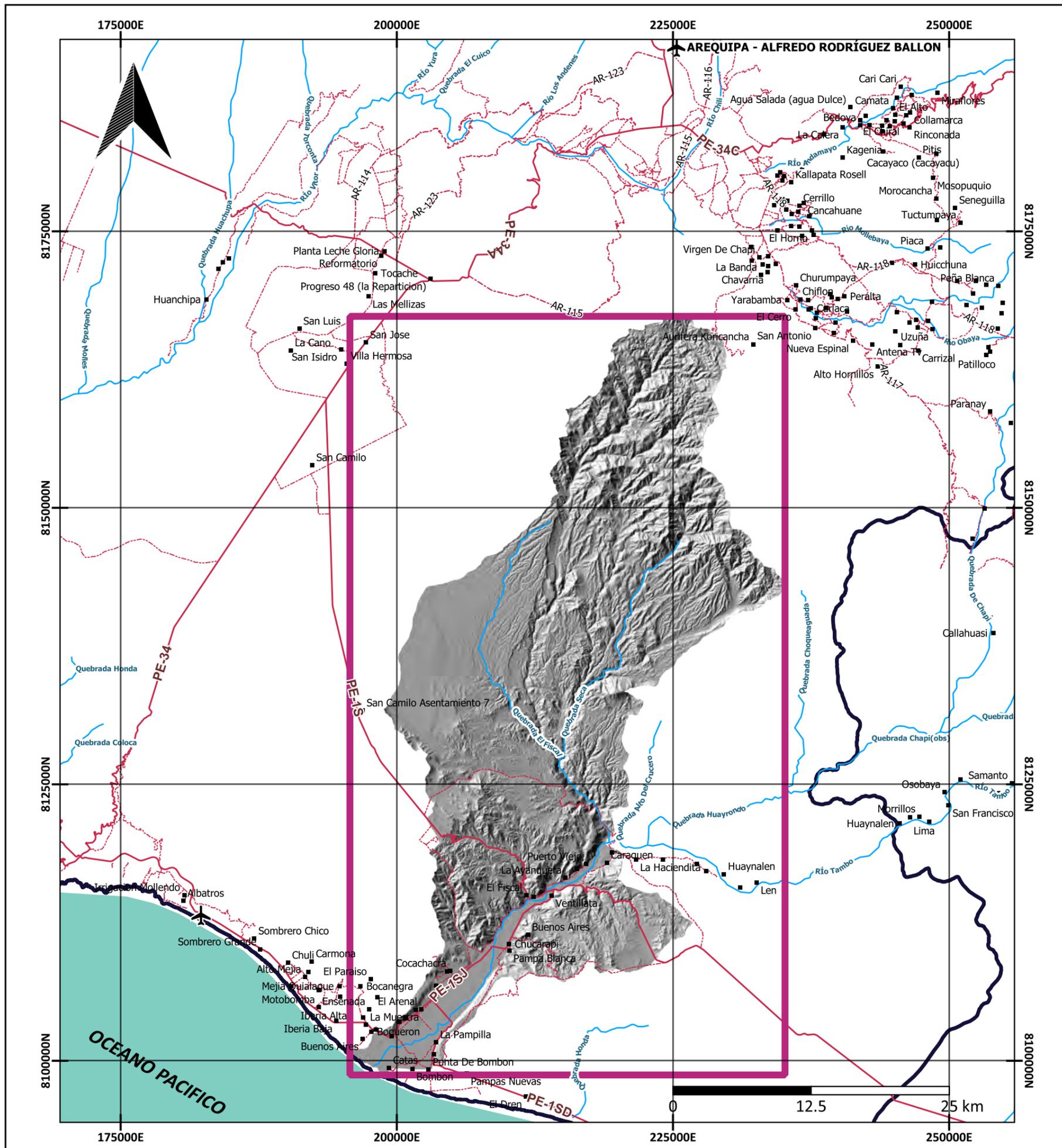
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018"

MAPA: **UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Elaboración: Victor Abraham Fernández Guzmán Asesor: Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón		MAPA: <b>01</b>
ZONA: 19K, hemisferio sur PROYECCIÓN: Universal Transverse Mercator (UTM) DATUM: World Geodesic System (WGS84)	PAIS: Perú DEPARTAMENTO: Arequipa PROVINCIA: Islay y Arequipa ESCALA DE TRABAJO: 1:300,000	

ANEXO 6: MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



ANEXO 7: MAPA DE ACCESIBILIDAD DEL AREA DE ESTUDIO

**LIMITE DEPARTAMENTAL**

**AREQUIPA**

**LIMITE PROVINCIAL**

**ISLAY - AREQUIPA**

**AREA DE ESTUDIO**

LA JOYA, YARABAMBA, COCACHACRA, MOLLENDO, DEAN VALDIVIA Y PUNTA DE BOMBÓN

**HOJAS AL 50K ADYACENTES**

LA JOYA 34-S4 19 S	LA JOYA 34-S1 19 S	PUQUINA 34-T4 19 S
LA JOYA 34-S3 19 S	LA JOYA 34-S2 19 S	PUQUINA 34-T3 19 S
PUNTA DE BOMBÓN 35-S4 19 S	PUNTA DE BOMBÓN 35-S1 19 S	CLEMESI 35-T4 19 S

**SIMBOLOGIA**

- Aerodromos
- Pueblos
- Red Vial Vecinal
- Red Vial Departamental
- Red Vial Nacional
- Area de Estudio
- Limite departamental

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

TESIS: **“NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018”**

MAPA: **ACCESIBILIDAD**

<p><b>Elaboración:</b> Víctor Abraham Fernández Guzmán</p> <p><b>Asesor:</b> Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón</p>	<p>MAPA:</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">02</p>
<p><b>ZONA:</b> 19K, hemisferio sur</p> <p><b>PROYECCIÓN:</b> Universal Transverse Mercator (UTM)</p> <p><b>DATUM:</b> World Geodesic System (WGS84)</p>	<p><b>PAIS:</b> Perú</p> <p><b>DEPARTAMENTO:</b> Arequipa</p> <p><b>PROVINCIA:</b> Islay y Arequipa</p> <p><b>ESCALA DE TRABAJO:</b> 1:375,000</p>

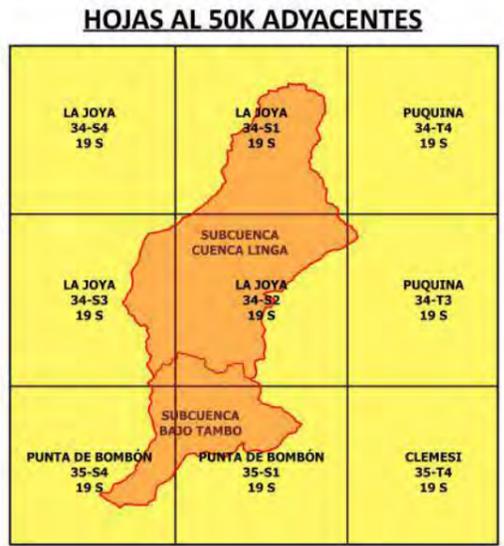
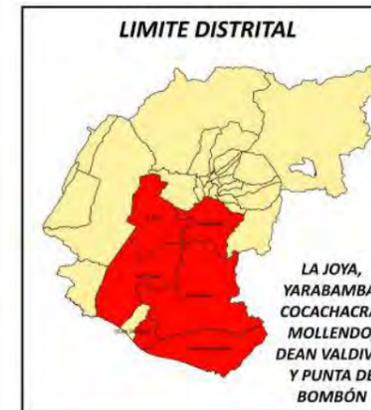
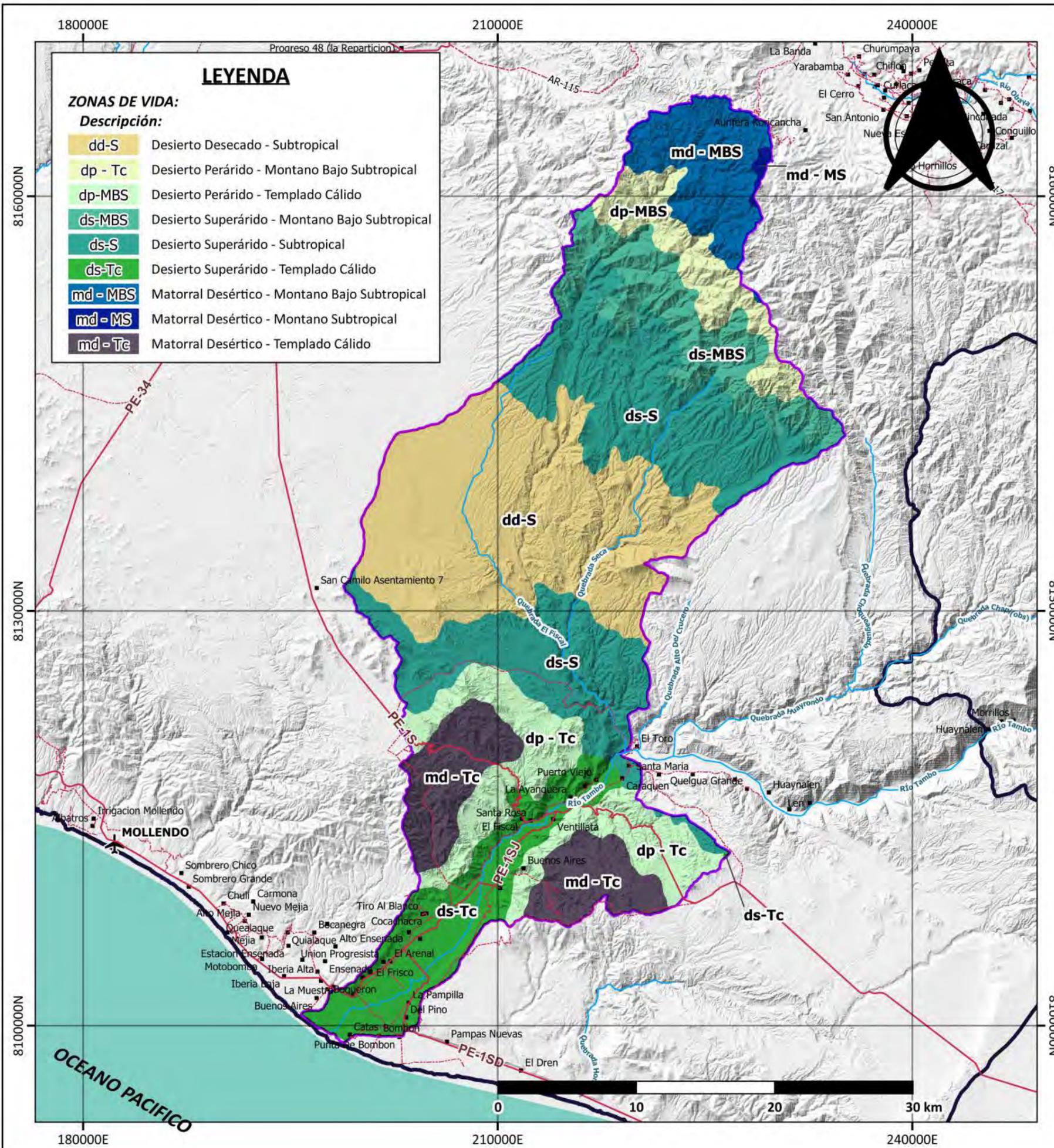


Tabla del área de las zonas de vida que ocupa el estudio.

CODIGO	Area_Ha	Area en %
md-MS	259.553	0.22
dp-MBS	6,188.134	5.29
md-Tc	10,036.36	8.58
ds-S	29,521.329	25.25
dp-Tc	12,055.276	10.31
ds-Tc	11,576.963	9.9
md-MBS	7,480.805	6.4
dd-S	30,624.364	26.19
<b>TOTAL</b>	<b>116915 Ha</b>	<b>100%</b>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS: "NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018"

MAPA: **ZONAS DE VIDA**

Elaboración: Victor Abraham Fernández Guzmán  
 Asesor: Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón

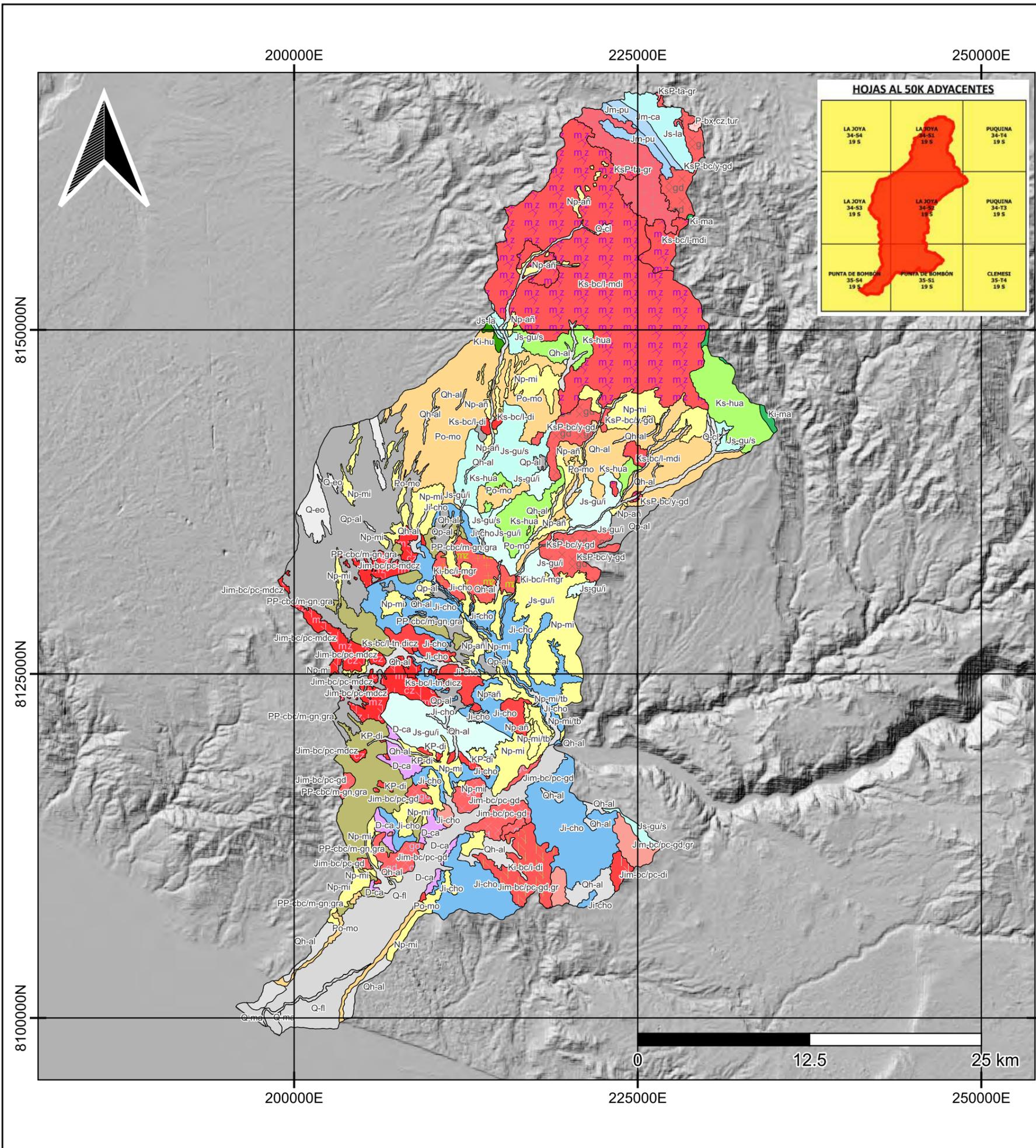
MAPA: **03**

ZONA: 19K, hemisferio sur  
 PROYECCIÓN: Universal Transverse Mercator (UTM)  
 DATUM: World Geodesic System (WGS84)

PAIS: Perú  
 DEPARTAMENTO: Arequipa  
 PROVINCIA: Islay y Arequipa

ESCALA DE TRABAJO: 1:300,000

ANEXO 8: MAPA DE ZONAS DE VIDA DEL AREA DE ESTUDIO



LEYENDA	
D-ca	Grp. Cabanillas
Ji-cho	Fm. Chocolate
Ji-cho/sed	Fm. Chocolate, nivel sedimentario
Jim-bc/pc-di	Superunidad Punta Coles, Diorita
Jim-bc/pc-gd,gr	Superunidad Punta Coles, Granodiorita
Jim-bc/pc-mdlz	Superunidad Punta Coles, Monzodiorita cuarzosa
Jm-ca	Grp. Yura, Formación Cachios
Jm-pu	Grp. Yura, Formación Puente
Js-gr	Grp. Yura, Formación Gramadal
Js-gu/i	Fm. Guaneros miembro inferior
Js-gu/s	Fm. Guaneros miembro superior
Js-la	Grp. Yura, Formación Labra
Ki-bc/i-di	Superunidad Ilo, Diorita
Ki-bc/i-mgr	Superunidad Ilo, Monzogranito
Ki-hu	Grp. Yura, Formación Hualhuani
Ki-ma	Fm. Matalaque
KP-di	Diorita
Ks-bc/i-di	Superunidad Linga, Diorita
Ks-bc/i-mdi	Superunidad Linga, Monzodiorita
Ks-bc/i-tr,dlcz	Superunidad Linga, Tonalita, Diorita cuarzosa
Ks-hua	Grp. Toquepala, Formación Huaracane
KsP-bc/y-gd	Superunidad Yrabamba, Granodiorita
KsP-ta-gr	Granito de Tambo
Np-añ	Fm. Añashuayco
Np-mi	Fm. Millo
Np-mi/tb	Fm. Millo, Tobas de cenizas
NQ-b/tand	Grupo Barroso, lavas traquiandesíticas
P-bx,cz,tur	Complejo Cerro Verde, Brecha de cuarzo - turmalina
Po-mo	Fm. Moquegua
PP-cbc/m-gn,gra	Complejo Basal de la Costa - Mollendo - gneis, granulita
Q-cl	Depósito Coluvial
Q-eo	Depósito Eólico
Q-fl	Depósito Fluvial
Qh-al	Depósito Aluvial
Q-ma	Depósito Marino
Qp-al	Depósito Aluvial



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



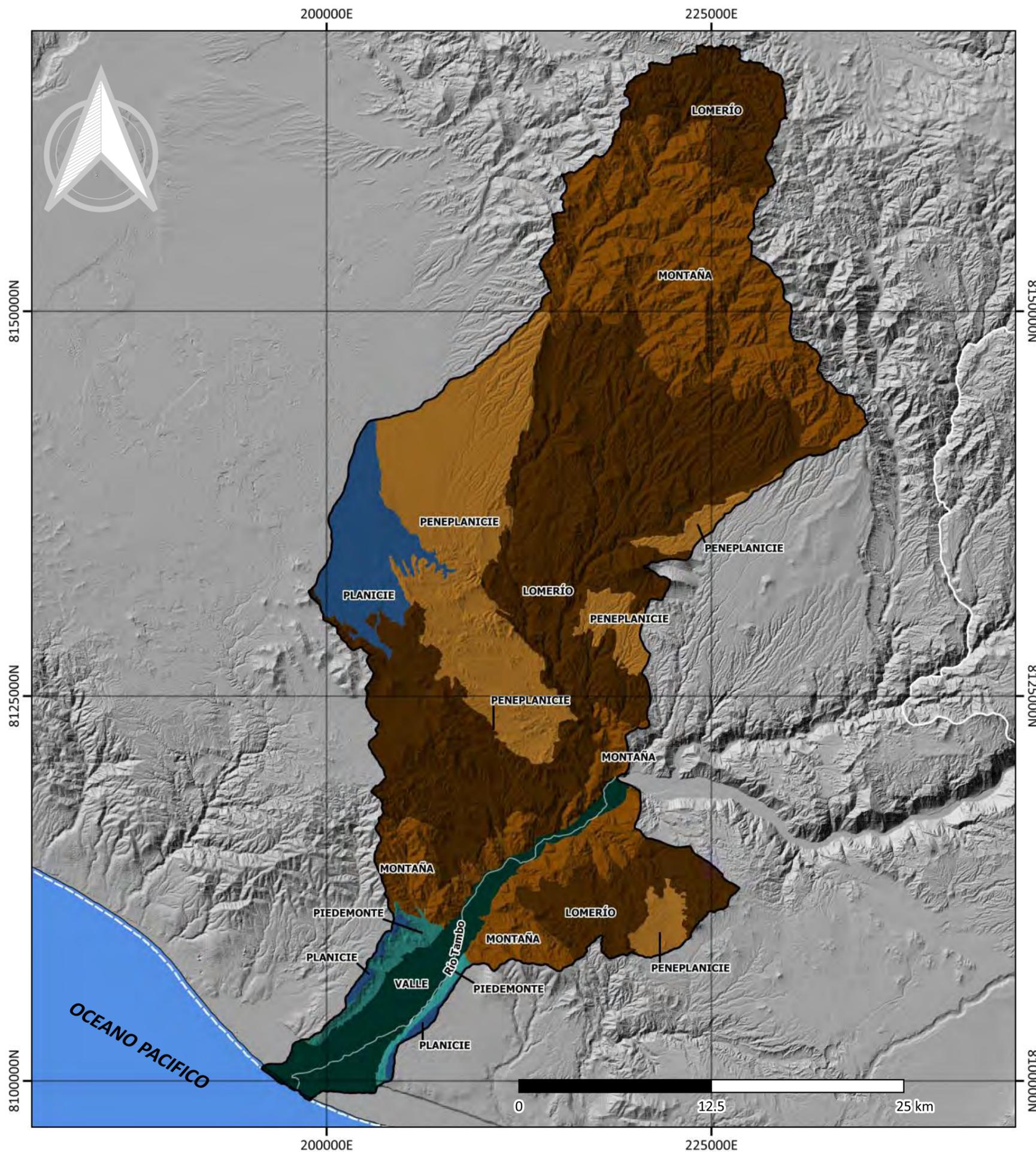
TESIS: **“NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018”**

MAPA: **GEOLÓGICO**

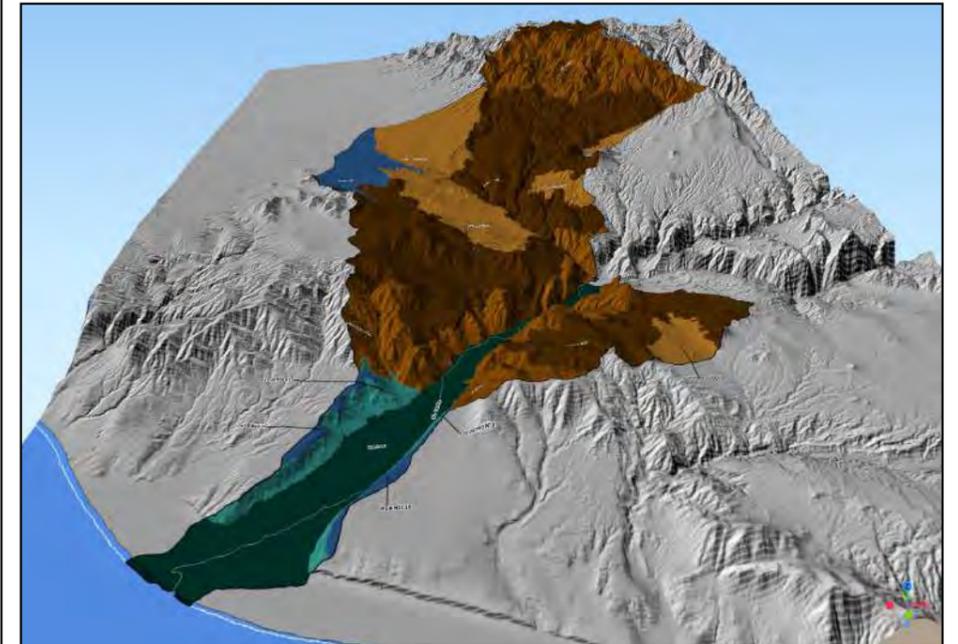
Elaboración: Victor Abraham Fernández Guzmán		MAPA:
Asesor: Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón		
ZONA: 19K, hemisferio sur	PAIS: Perú	<b>04</b>
PROYECCIÓN: Universal Transverse Mercator (UTM)	DEPARTAMENTO: Arequipa	
DATUM: World Geodesic System (WGS84)	PROVINCIA: Islay y Arequipa	

ESCALA DE TRABAJO  
**1:300,000**

**ANEXO 9: MAPA GEOLOGICO**



**REPRESENTACION 3D DE UNIDADES DE PAISAJE GEOMORFOLÓGICO**



**LEYENDA**

**Paisaje Geomorfológico:**

- Lomerío
- Montaña
- Peneplanicie
- Piedemonte
- Planicie
- Valle

**SIMBOLOGIA**

- Río Tambo
- Limite Departamental

**SUPERFICIE DE EXTENSION DE LAS UNIDADES DE PAISAJE GEOMORFOLÓGICO**

PAISAJE GEOMORFOLOGICO	AREA EN KM2	% DE AREA
LOMERÍO	515.74	44.11
MONTAÑA	307.53	26.3
PENEPLANICIE	204.56	17.5
PIEDEMONTES	17.83	1.53
PLANICIE	59.04	5.05
VALLE	64.45	5.51

Total	1169.15 Km2	100%
-------	-------------	------



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

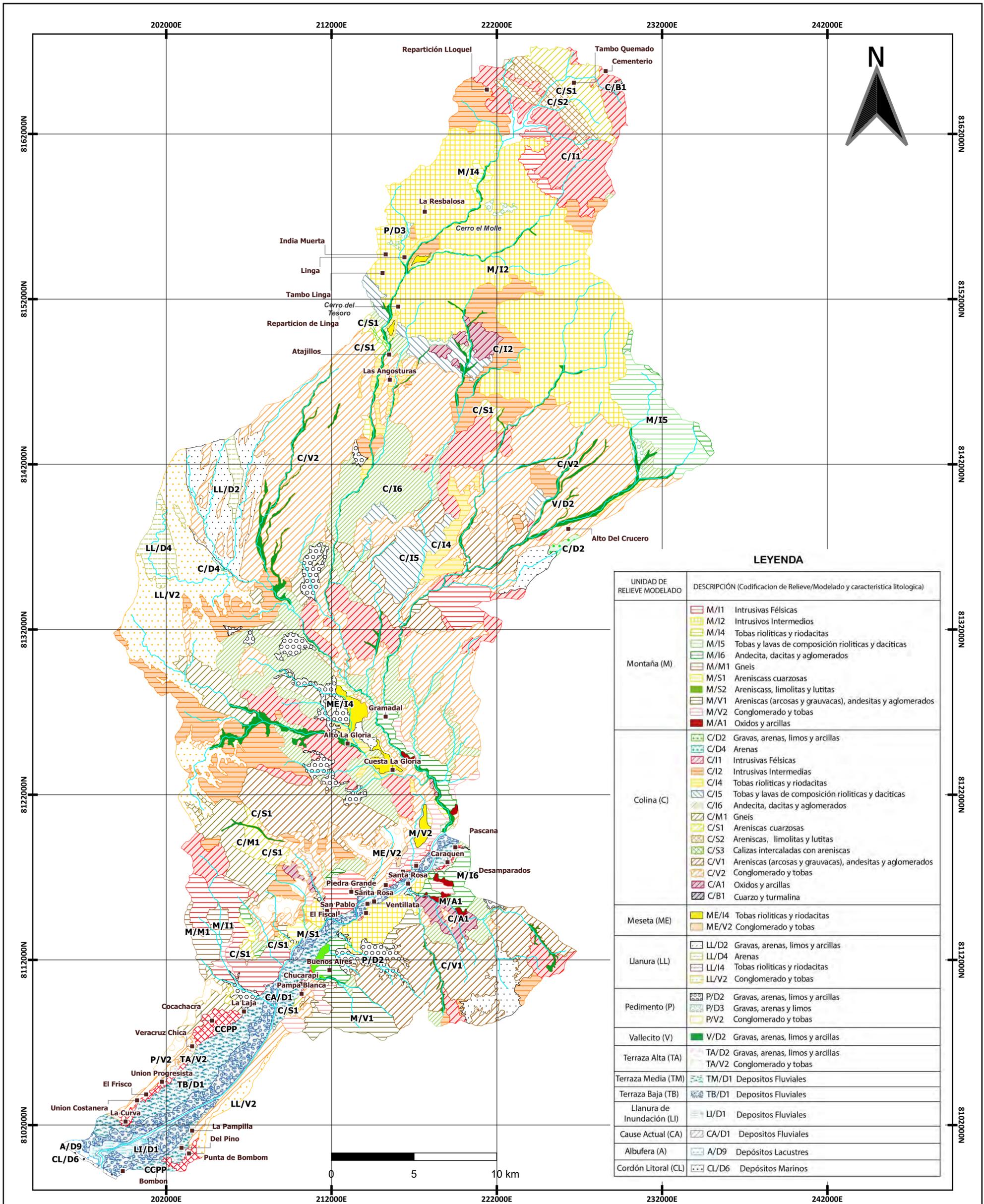


TESIS: "NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018"

MAPA: **PAISAJE GEOMORFOLÓGICO**

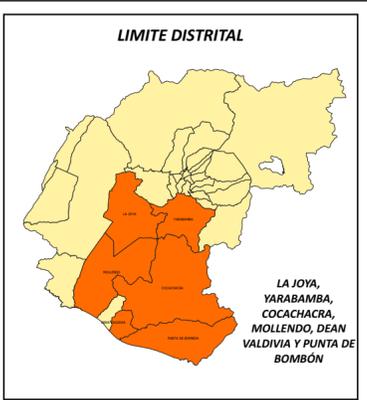
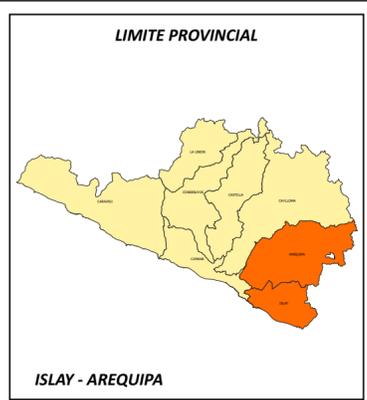
<p><b>Elaboración:</b> Victor Abraham Fernández Guzmán <b>Asesor:</b> Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón</p>	<p>MAPA:</p> <h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">05</h1>
<p>ZONA: 19K, hemisferio sur PROYECCIÓN: Universal Transverse Mercator (UTM) DATUM: World Geodesic System (WGS84)</p>	<p>PAIS: Perú DEPARTAMENTO: Arequipa PROVINCIA: Islay y Arequipa ESCALA DE TRABAJO 1:275,000</p>

**ANEXO 10: MAPA DE PAISAJE GEOMORFOLÓGICO DEL AREA DE ESTUDIO**



**LEYENDA**

UNIDAD DE RELIEVE MODELADO	DESCRIPCIÓN (Codificación de Relieve/Modelado y característica litológica)
Montaña (M)	M/I1 Intrusivas Félsicas
	M/I2 Intrusivos Intermedios
	M/I4 Tobas riolíticas y riolacitas
	M/I5 Tobas y lavas de composición riolíticas y dacíticas
	M/I6 Andecita, dacitas y aglomerados
	M/M1 Gneis
	M/S1 Areniscas cuarzosas
	M/S2 Areniscas, limolitas y lutitas
	M/V1 Areniscas (arcosas y grauvacas), andesitas y aglomerados
	M/V2 Conglomerado y tobas
M/A1 Oxidos y arcillas	
Colina (C)	C/D2 Gravas, arenas, limos y arcillas
	C/D4 Arenas
	C/I1 Intrusivas Félsicas
	C/I2 Intrusivas Intermedias
	C/I4 Tobas riolíticas y riolacitas
	C/I5 Tobas y lavas de composición riolíticas y dacíticas
	C/I6 Andecita, dacitas y aglomerados
	C/M1 Gneis
	C/S1 Areniscas cuarzosas
	C/S2 Areniscas, limolitas y lutitas
C/S3 Calizas intercaladas con areniscas	
C/V1 Areniscas (arcosas y grauvacas), andesitas y aglomerados	
C/V2 Conglomerado y tobas	
C/A1 Oxidos y arcillas	
C/B1 Cuarzo y turmalina	
Meseta (ME)	ME/I4 Tobas riolíticas y riolacitas
	ME/V2 Conglomerado y tobas
Llanura (LL)	LL/D2 Gravas, arenas, limos y arcillas
	LL/D4 Arenas
	LL/I4 Tobas riolíticas y riolacitas
	LL/V2 Conglomerado y tobas
Pedimento (P)	P/D2 Gravas, arenas, limos y arcillas
	P/D3 Gravas, arenas y limos
	P/V2 Conglomerado y tobas
Vallecito (V)	V/D2 Gravas, arenas, limos y arcillas
Terraza Alta (TA)	TA/D2 Gravas, arenas, limos y arcillas
	TA/V2 Conglomerado y tobas
Terraza Media (TM)	TM/D1 Depositos Fluviales
Terraza Baja (TB)	TB/D1 Depositos Fluviales
Llanura de Inundación (LI)	LI/D1 Depositos Fluviales
Cause Actual (CA)	CA/D1 Depositos Fluviales
Albufera (A)	A/D9 Depósitos Lacustres
Cordón Litoral (CL)	CL/D6 Depósitos Marinos



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

TESIS: "NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA POTENCIALMENTE TOXICOS PARA LA SALUD SEGÚN EL USO DE SUELO, SUBCUENCAS BAJO TAMBO Y LINGA, AREQUIPA-PERÚ, 2018"

MAPA: **RELIEVE MODELADO Y LITOLOGÍA**

Elaboración: Victor Abraham Fernández Guzmán  
 Asesor: Mg. Ing. Mauro Alberto Zegarra Carreón

ZONA: 19K, hemisferio sur  
 PROYECCIÓN: Universal Transverse Mercator (UTM)  
 DATUM: World Geodesic System (WGS84)

PAIS: Perú  
 DEPARTAMENTO: Arequipa  
 PROVINCIA: Islay y Arequipa  
 ESCALA DE TRABAJO: 1:150,000

MAPA: **06**

ANEXO 11: MAPA DE RELIEVE MODELADO Y LITOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO