# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



# TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

"PROCESAMIENTO DE VALORES GEOQUÍMICOS DE METALES
PESADOS EN SEDIMENTOS DE SUELOS, EN LA PARTE MEDIA DE LA
CUENCA DEL RÍO CHILLÓN, PARA DETERMINAR LAS FUENTES DE
CONTAMINACIÓN Y EL PROCESO DE SU REDUCCIÓN"

# PARA OPTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO GEÓLOGO

**ELABORADO POR** 

# **HENRRY MAXNELL HENOSTROZA ROMERO**

**ASESOR** 

M.Sc. ING. MARIA LUZ MARQUINA ROBLES

LIMA - PERÚ

# **DEDICATORIA**

A mi padre que está en el cielo, por sus consejos y por siempre impulsarme a ser mejor, a mi madre por su dedicación, a mi hermano, a mi esposa y a mi hijo que es mi motor y motivo.

# **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi asesora y especialista por su paciencia y apoyo incondicional y a todos aquellos que colaboraron para que este trabajo de investigación sea concluido satisfactoriamente.

#### RESUMEN

La parte media de la cuenca del río Chillón, es un área con presencia de mineralización aurífera, parcialmente explotada por mineros informales (Minera Yangas. Canta 2010), distribuidos principalmente en el cauce de la quebrada junto a los afloramientos mineralizados.

Se efectuó el análisis químico de los metales pesados, de: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Cinc (Zn).

Los metales (As), (Cd), (Cr), (Cu), (Hg), (Pb) y (Zn). (potencialmente tóxicos para la salud) encontrados en el estudio geoquímico, han sido estudiados en su fracción soluble en el material en suspensión en las aguas del Río Chillón, mas no así en los sedimentos del área de estudio.

El propósito del trabajo de suficiencia profesional, es diseñar mapas de isovalores de la concentración de metales tóxicos, para lo cual se recopiló información de resultados de análisis geoquímicos de muestras de sedimentos de suelos, así como de mapas geológicos.

Con la información de valores geoquímicos, se realizó los cálculos estadísticos y la correlación de datos según las Directrices de la tabla Canadienses de Calidad Ambiental.

Seguidamente se delimitó las zonas con mayor y menor concentración de elementos químicos contaminantes, principalmente de metales pesados ubicando y definiendo las fuentes de contaminación.

A continuación, teniendo en cuenta que algunos de estos metales son indispensables

en proporciones adecuadas para proteger la salud de los seres humanos y seres vivos

en general; se clasifica en base a los parámetros establecidos los metales que exceden

los contenidos de consumo permitido y que por el contrario causan daño al ecosistema

y a la salud de la población.

Los metales pesados que excedieron los límites permisibles son: Arsénico (As),

Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb).

Finalmente, se define las medidas de prevención y de ejecución de actividades, para

el control, reducción y/o eliminación de las fuentes de contaminación, proporcionando

las recomendaciones necesarias para que los organismos especializados en

contaminación del medioambiente y medicina ambiental, logren preservar un medio

ambiente sano en beneficio de la población, de trabajadores mineros y de las

poblaciones del entorno.

Palabras claves: geoquímica, dispersión, metales pesados, sedimentos, cuenca

#### ABSTRACT

The middle part of the Chillón river basin is an area with the presence of gold mineralization, partially exploited by informal miners (Minera Yangas. Canta 2010), distributed mainly in the bed of the ravine next to the mineralized outcrops.

The chemical analysis of heavy metals was carried out: Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Copper (Cu), Mercury (Hg), Lead (Pb) and Zinc (Zn).

The metals (As), (Cd), (Cr), (Cu), (Hg), (Pb) and (Zn). (potentially toxic to health) found in the geochemical study, have been studied in their soluble fraction in the material in suspension in the waters of the Chillón River, but not in the sediments of the study area.

The purpose of the professional proficiency work is to design maps of isovalues of the concentration of toxic metals, for which information was collected from the results of geochemical analysis of soil sediment samples, as well as geological maps.

With the information of geochemical values, statistical calculations and data correlation were performed according to the Canadian Environmental Quality Table Guidelines.

Next, the areas with the highest and lowest concentration of polluting chemical elements, mainly heavy metals, were delimited, locating and defining the sources of contamination.

Next, taking into account that some of these metals are essential in adequate proportions to protect the health of human beings and living beings in general; Based on established parameters, metals that exceed the permitted consumption content and that, on the contrary, cause damage to the ecosystem and to the health of the population are classified.

The heavy metals that exceeded the permissible limits are: Arsenic (As), Cadmium (Cd),

Copper (Cu), Mercury (Hg) and Lead (Pb).

Finally, the measures of prevention and execution of activities are defined, for the

control, reduction and/or elimination of the sources of contamination, providing the

necessary recommendations so that the organisms specialized in environmental

contamination and environmental medicine, manage to preserve an environment.

healthy environment for the benefit of the population, mining workers and surrounding

populations.

Keywords: geochemistry, dispersion, heavy metals, sediments, basin

#### **PROLOGO**

El presente informe de suficiencia tiene como aporte la generación de mapas de isovalores y la generación de tablas comparativas donde se determinarán zonas con mayor y menor contaminación.

El contenido se ha estructurado en seis capítulos, descritos a continuación:

En el capítulo I se describen las generalidades, la problemática a partir del cual se describe el objeto de estudio, los antecedentes investigativos, la Hipótesis y las variables de estudio.

En el capítulo II, se presenta las bases teóricas, el marco conceptual describiendo conceptos que ayudaran a comprender y a desarrollar el presente trabajo.

Además, en el capítulo II, se describe la metodología de investigación que es empleada en el presente trabajo de suficiencia, detallando el tipo de investigación, la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

En el capitulo IV, se desarrolla el trabajo de investigación apartir del procesamiento de la informacion recolectada y se presenta el diseño geoquimico basado en los resultados del analisis de muestras, ademas se describe las fuentes de contaminacion en el area de estudio.

En el capitulo V, se muestran los resultados del presente trabajo de suficiencia analizando la correlación del modelo geoquímico y la norma canadiense.

En el capítulo VI, se da propuestas de Ingeniería para tratar de buscar una solución viable para este trabajo. Finalmente se redactan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

# INDICE

DEDICATO	RIA
AGRADECI	MIENTO
RESUMEN.	iii
ABSTRACT	·v
PROLOGO.	vi
CAPI	TULO I: INTRODUCCIÓN1
1.1	Generalidades1
1.2	Descripción del Problema de Investigación3
	1.2.1 Justificación de la Investigación3
	1.2.2 Formulación del Problema7
1.3	Objetivo del Estudio7
	1.3.1 Objetivo general7
1.4	Hipótesis7
	1.4.1 Hipótesis General7
	1.4.2 Definición de Variables7
	1.4.2.1 Variable independiente7
	1.4.2.2 Variable dependiente7
1.5	Antecedentes Investigativos
	1.5.1 Antecedentes Internacionales9
	1.5.2 Antecedentes Nacionales11
1.6	Generalidades de la Zona de Estudio12
	1.6.1 Ubicación y Accesibilidad12
	1.6.1.1 Ubicación12
	1.6.1.2 Accesibilidad14
	1.6.2 Fisiografía15
	1.6.2.1 Geografía
	1.6.3 Clima, Flora y Fauna15

	1.6.4 Hidrografía	17
CAPIT 2.1	TULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	
2	2.1.1 Metales pesados	
	2.1.2 Concepto de sedimentos	
	2.1.3 Tipos de Depósitos de Sedimentos	20
	2.1.3.1 Depósitos de sedimentos coluviales	20
	2.1.3.2 Depósitos de sedimentos aluviales	20
	2.1.3.3 Depósitos de sedimentos eólicos	20
	2.1.3.4 Depósitos de sedimentos glaciares	
	2.1.5 Arsénico (As)	21
	2.1.6 Software Surfer	21
	2.1.7 Niveles de fondo	22
	2.1.8 Especiación química	22
	2.1.9 Valor de referencia	22
2.2	Marco Conceptual	23
	2.2.1 Carga	
	2.2.2 Transporte	23
2.3	Metodología de la Investigación	24
	2.3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	24
	2.3.1.1 Enfoque	24
	2.3.1.2 Alcance	24
	2.3.1.3 Diseño de la investigación	
	2.3.2.1 Características especificas	
2.4	Normas y Reglamentaciones	28

	2.4.1 Marco Legal2	:8
	2.4.1.1 Nacionales2	28
	2.4.1.2 Internacional2	28
CAPITI	JLO III: MARCO GEOLÓGICO2	29
3.1	Geología Regional2	29
	3.1.1 Geomorfología2	29
	3.1.2 Litología3	3
	3.1.2.1 Estratigrafía3	5
	Grupo Rímac (Terciario Inferior)	5
	Volcánico Quilmaná (Cretáceo Superior)3	5
	Volcánico Huarangal (Cretáceo Superior)3	5
	Formación Atocongo (Cretáceo Inferior)3	6
	Volcánico Yangas (Cretáceo Inferior)3	6
	Formación Arahuay (Jurásico)3	7
	3.1.3 Geología Estructural3	9
	3.1.4 Evolución Tectónica4	-0
	3.1.5 Metalogenia4	1
3.2	Geología Local4	3
	3.2.1 Geomorfología4	3
	3.2.2 Litología4	4
	3.2.2.1 Rocas Plutónicas4	5
	3.2.3 Alteraciones Hidrotermales4	-6
	3.2.3.1 Alteraciones Supérgena4	-6
	3.2.3.2 Alteraciones Hipógena4	6
	3.2.3.3 Cuarzo-Sericita4	6
	3.2.3.4Cloritización4	7

		3.2.3.5 Argilización
	3.2.4	Mineralización48
		3.2.4.1 Mineralogía de Mena49
		3.2.4.2 Mineralogía de Ganga52
		3.2.4.3 Estudio Mineragráfico de Secciones Delgadas53
		3.2.4.4 Estructuras mineralizadas55
	3.2.5	Paragénesis55
	3.2.6	Genesis y Modelo Geológico58
	3.2.7	Geología Estructural60
	3.2.8	Geología Económica61
	3.2.8.1	Operación Minera61
<b>CAPITU</b> 4.1	Investiga	rivestrigaciones
4.2	Investiga	ciones de laboratorio81
	4.2.1 An	álisis Geoquímico81
	4.2.2 Me	tales Totales82
4.3	Procedin	niento en el Procesamiento de la Información83
	4.3.1 Ob	tención de los Diagramas de Caja y Bigote83
	4.3.2 Se	paración de valores anómalos85
	4.3.3 Pro	ocedimiento para obtener Mapas de Isovalores en ArcGIS.
		86
4.4	•	e Isovalores y Diagrama de Caja y Bigotes de los Elementos es Pesados91
	4.4.1 Ma	pa de Isovalores del Elemento Arsénico91
	4.4.2 Dia	agrama de Caja y Bigote del Elemento Arsénico92

	4.4.3 Mapa de Isovalores del Elemento Cadmio	93
	4.4.4 Diagrama de caja y Bigote del elemento Cadmio	94
	4.4.5 Mapa de Isovalores del Elemento Cromo	95
	4.4.6 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Cromo	96
	4.4.7 Mapa de Isovalores del Elemento Cobre	97
	4.4.8 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Cobre	98
	4.4.9 Mapa de Isovalores del Elemento Mercurio	99
	4.4.10 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Mercurio	100
	4.4.11 Mapa de Isovalores del Elemento Plomo	101
	4.4.12 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Plomo	102
	4.4.13 Mapa de Isovalores del Elemento Zinc	103
	4.4.14 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Zinc	104
4.5	Histograma de los Elementos de Metales Pesados	105
	4.5.1 Arsénico	105
	4.5.2 Cadmio	106
	4.5.3 Cromo	107
	4.5.4 Cobre	108
	4.5.5 Mercurio	109
	4.5.6 Plomo	110
	4.5.7 Zinc	111
CAPIT	ULO V: ANALISIS, DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE	
	OS	
5.1	Arsénico	
5.2	Cadmio	
5.3	Cromo	115
5.4	Cobre	115

5.5	Mercurio	116
5.6	Plomo	116
5.7	Zinc	116
CAP	ÍTULO VI: PROPUESTA DE INGENIERÍA	118
6.1	Impactos de la Actividad Minera Artesanal	118
6.2	Presupuesto	121
CONCLUS	IONES	123
RECOMEN	DACIONES	127
REFEREN	CIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS		132

# **INDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1.1: Arsénico en la cuenca del rio chillón	6
Figura N°1.2: Mapa de ubicación	13
Figura N° 1.3: Mapa satelital de Ubicación y Acceso	.14
Figura N° 1.4: Caracterización climática de la cuenca del rio chillón	16
Figura N° 1.5: Red hidrográfica de la cuenca del Rio Chillón	.17
Figura N° 3.1: Perfil Morfológico de la Cuenca del Río Chillón	.30
Figura N° 3.2: Perfil de Elevación de la Cuenca del Río Chillón	.32
Figura N° 3.3: Mapa Geológico Regional de la cuenca del rio chillón	.34
Figura N° 3.4: Estratigrafía Regional, cuenca del rio Chillón	.38
Figura N° 3.5: Mapa Geomorfológico – Satelital del Área de Estudio	.42
Figura N° 3.6: Mapa Satelital del Área de Estudio	.43
Figura N° 3.7: Mapa Litológico – Satelital del área de estudio	.44
Figura N° 3.8: Nicoles paralelos en sección delgada	.54
Figura N° 3.9: Nicoles paralelos en sección delgada	.55
Figura N° 3.10: Modelo Geológico de la Formación de la Cuenca Chillón	.59
Figura N° 3.11: Mapa de estructuras Mineralizadas	.60
Figura N° 4.1: Malla de Muestreo	.71
Figura N° 4.2: Punto de Muestreo P-1	.72
Figura N° 4.3: Punto de Muestreo P-2	.72
Figura N° 4.4: Punto de Muestreo P-3	.73
Figura N° 4.5: Punto de Muestreo P-4	.73
Figura N° 4.6: Punto de Muestreo P-5.	.74
Figura N° 4.7: Punto de Muestreo P-6	.74
Figura N° 4.8: Punto de Muestreo P-7	.75
Figura N° 4.9: Punto de Muestreo P-8.	.75
Figura N° 4.10: Punto de Muestreo P-9	.76
Figura N° 4.11: Punto de Muestreo P-10	.76
Figura N° 4.12: Punto de Muestreo P-11	.77
Figura N° 4.13: Punto de Muestreo P-12	.77
Figura N° 4 14: Punto de Muestreo P-13	78

Figura N° 4.15: Punto de Muestreo P-14	78
Figura N° 4.16: Punto de Muestreo P-15	79
Figura N° 4.17: Esquema lineal de la Distribución de Parámetros	
Estadísticos	84
Figura 4.18: tabla de atributos en ArcGIS	87
Figura N° 4.19: Interpolación de datos	88
Figura 4.20: Calculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones	
asociadas	89
Figura N° 4.21: Interpolación mediante el Kriging	89
Figura N° 4.22: Mapa de Isovalores Final	90
Figura N° 4.23: Mapa de interpolación del elemento As	91
Figura N° 4.24: Diagrama de caja y bigote del elemento As	92
Figura N° 4.25: Mapa de interpolación del elemento Cd	93
Figura N° 4.26: Diagrama de caja y bigote del elemento Cd	94
Figura N° 4.27: Mapa de interpolación del elemento Cr	95
Figura N° 4.28: diagrama de caja y bigote del elemento Cr	96
Figura N° 4.29: Mapa de interpolación del elemento Cu	97
Figura N° 4.30: diagrama de caja y bigote del elemento Cu	98
Figura N° 4.31: Mapa de interpolación del elemento Hg	99
Figura N° 4.32: diagrama de caja y bigote del elemento Hg	100
Figura N° 4.33: Mapa de interpolación del elemento Pb	101
Figura N° 4.34: diagrama de caja y bigote del elemento Pb	102
Figura N° 4.35: Mapa de interpolación del elemento Zn	103
Figura N° 4.36: diagrama de caja y bigote del elemento Zn	104
Figura N° 4.37: Histograma de la concentración de Arsénico (mg/Kg)	105
Figura N° 4.38: Histograma de la concentración del Cadmio (mg/Kg)	106
Figura N° 4.39: Histograma de la concentración del Cromo (mg/Kg)	107
Figura N° 4.40: Histograma de la concentración del Cobre (mg/Kg)	108
Figura N° 4.41: Histograma de la concentración del Cobre (mg/Kg)	109
Figura N° 4.42: Histograma de la concentración del Cobre (mg/Kg)	110
Figura N° 4.43: Histograma de la concentración del Zinc (mg/Kg)	111

# **INDICE DE TABLAS**

Tabla N°: 1,1 Labores mineras artesanales en el área de estudio4
Tabla N° 1.2: Resultado de Análisis Geoquímico5
Tabla N° 2.1: Matriz de consistencia27
Tabla N° 3.1: Paragénesis etapas de Mineralización58
Tabla N° 4.1: Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo para
sedimento80
Tabla N° 4.2 Resultado de los valores geoquímicos obtenidos para 15
Muestras81
Tabla N° 4.3: Resultado de Análisis Químico de Metales totales82
Tabla N° 4.4: Tabla comparativa entre los resultados de metales pesados
y el CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines)82
Tabla N° 4.5: Procesamiento de Metales Pesados86
Tabla N° 5.1: Parámetros Norma Canadiense113
Tabla 6.1 Presupuesto para el desarrollo del Trabajo de Investigación122

# CAPITULO I

#### 1.1 Generalidades

El incremento del precio de metales principalmente de Au y Cu que han alcanzado un precio promedio de 1880 USD/Oz y 4.2 USD/lb respectivamente, en lo que va el primer semestre de este año 2021, haciendo viable su explotación y propiciando la apertura de nuevas minas o reapertura de antiguas minas que contienen estos metales con leyes que dejan márgenes de utilidad económica, como es el caso de la zona de estudio.

Especialistas en el tema han destacado algunas características de este interesante fenómeno, como es el comportamiento del oro, como un activo en sí, se ha convertido en una alternativa en un momento en que tanto los títulos como los bonos actualmente tienen una tendencia débil y las tasas de interés han registrado mínimos históricos.

Los metales base plomo y zinc, han mantenido su precio en alza con variaciones menores, respecto a la plata, oro y cobre, sobre todo los 2 metales últimos que han alcanzado un incremento elevado en su cotización internacional.

En el caso del oro, este metal se ha convertido en moneda alternativa al euro y al dólar americano. La situación de inseguridad en muchas partes del mundo y las bajas tasas de interés han atraído el interés por el oro.

La zona de estudio visitada para esta investigación, se encuentra actualmente ocupada por mineros artesanales informales en una cantidad aproximada de 2100 labores mineras, distribuidos en toda la parte ancha de la quebrada, junto a los afloramientos mineralizados.

La metodología de trabajo que desarrollan estos trabajadores, es similar a la que realizan los mineros artesanales del sur medio. Así mismo los campamentos son precarios, no disponen de agua potable y se transporta en bidones para el consumo doméstico; tampoco disponen de energía eléctrica.

Las rocas de la zona de estudio, son de origen magmático pertenecientes al Complejo Santa Rosa del Batolito de la Costa de edad Cretáceo Superior y a los Volcánicos Yangas del Cretáceo Inferior. En estas rocas ígneas se emplazan las estructuras mineralizadas evidenciando una relación genética con la mineralización.

Metalogenética mente, la mineralización aurífera con valores menores de cobre de la zona de estudio, corresponde a la continuación de la franja cupro-aurífera Nasca-Ocoña con estructuras mineralizadas de geometría filoniana, de origen hidrotermal relacionada

genéticamente al magmatismo en el Batolito de la Costa. El sistema petrológico de esta zona como ocurre hacia el sur y norte del Batolito, se encuentra erosionado y su potencial aurífero es escaso y está limitado a las vetas existentes en la morfología expuesta, además en el caso de la minería artesanal aporta ingresos económicos limitados.

Por el repunte del precio internacional del Oro principalmente este año 2021, de alrededor de 1900 dólares onza en el mes de junio con proyección a elevarse a más de 2000 dólares en los próximos meses, han originado una intensidad inusual en los trabajos de explotación en el área de estudio. Sin embargo, el trabajo artesanal desordenado de la explotación informal, en condiciones de trabajo y sanidad muy precarias, limitan el beneficio económico de sus participantes.

# 1.2 Descripción del Problema de Investigación

El estudio geoquímico de sedimentos activos en esta parte de la cuenca del río Chillón, realizado en la fracción soluble del material en suspensión, se ha encontrado algunos metales pesados potencialmente tóxicos a la salud humana que han sido estudiados en su fracción soluble y en el material en suspensión en las aguas.

Sin embargo, no se ha estudiado el comportamiento geoquímico de los metales pesados en sedimentos de suelos.

#### 1.2.1 Justificación de la Investigación

Se muestran tablas en el cual se puede comprobar la actividad minera artesanal realizada en el área de estudio, muchas

veces informal, que contamina los suelos, el agua y el medio ambiente.

La tabla 1,1 detalla sectores de trabajo minero artesanal, en el cual algunas labores siguen produciendo en la actualidad.

Tabla N°: 1,1 Labores mineras artesanales en el área de estudio

Zona y Nombre	Hoja	Este	Norte	Tipo de Yacimiento	Elmentos	Tipo de Roca
Lajas - Labor urbina		304964	8702 635	estructura mineralizada en vetas de cuarzo	Au	Tonalita Diorita Ks sr/ tdi
Caracol Nº 1		303140	8701158			
Caracol Nº 2	24 j	303146	8700983			
Lomada Labor Carmona	24)	300344	8700 868			
La Aguada		298762	8699 768			

Fuente: INGEMMET (2010) 'Actividad minera artesanal en la Cuenca del Río Chillón (Minería de Yangas – canta). Región Lima'.

La zona de estudio llamada Caracol tenía una producción promedio de 4 TM por mes con leyes de mineral reportadas por los mineros artesanos de 1 OZ/TM de Au (INGEMMET 2010) y en la actualidad, la producción alcanza de 5 a 7 TM con Leyes de 25 GM/TM de Au. Todo ello conlleva a un incremento de la contaminación del área en estudio.

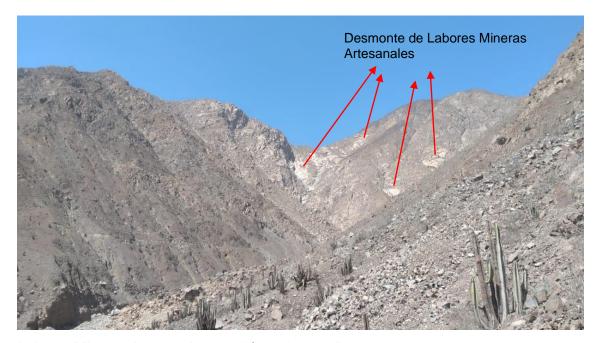
La tabla 1.2 muestra los resultados de los análisis geoquímicos de metales pesados en las labores mineras Caracol y la Aguada.

Tabla N° 1.2: Resultado de Análisis Geoquímico.

N.º Muestra	Au g/TM	Ag ppm	Cu ppm	Mo ppm	Pb ppm	Zn ppm	As ppm	Clasificación
Caracol Nº 1	26,47	>10	1010	4,75	>10000	>10000	>10000	Clasificación
Caracol Nº 2	28,63	>10	1860	10,50	>10000	>10000	>10000	manual de estructura
La Aguada	35,32	>10	2343	7,99	>10000	>10000	>10000	mineralizada.

Fuente: INGEMMET (2010) "Actividad minera artesanal en la Cuenca del Río Chillón (Minería de Yangas – canta) Región Lima".

En la siguiente foto se aprecia el desmonte que generalmente es dispuesto en los exteriores de las labores, sin embargo, en algunos casos es usado como relleno de los tajos vacíos para afianzar el sostenimiento de alguna zona de trabajo.



Labores Mineras Artesanales en el área de estudio.

La figura 1.1 muestra la dispersión del arsénico a lo largo de la cuenca del Rio Chillón, la mayoría de los puntos de muestreo tienen valores menores a 60 ppm y solo existen dos valores anómalos que superan valores de 140 ppm.

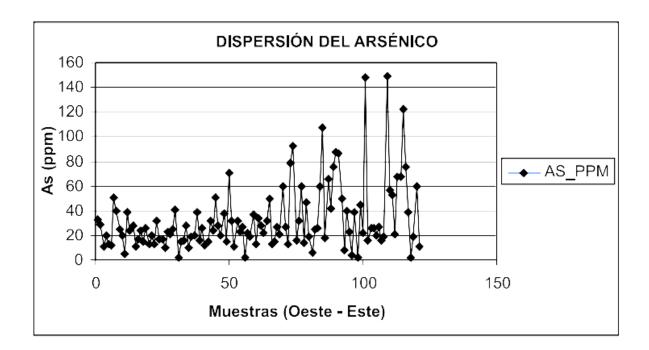


Figura N° 1.1: Arsénico en la cuenca del rio chillón.

Fuente: Rivera Hugo, Otros. (2007) "Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín Departamento de Lima".

Según Rivera Hugo y Otros Autores (2007), la mayor dispersión y concentración de los metales pesados (Sb, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb. V, Zn, Sn, W), ocurre en el curso inferior del rio chillón, en el curso medio destaca la presencia del Cd y Hg en moderada concentración, y el As tiene menor dispersión concentrándose en el curso superior.

#### 1.2.2 Formulación del Problema

¿En qué medida los altos valores no permisibles en los resultados de los análisis geoquímicos de metales pesados en sedimentos, inciden en la no reducción de las fuentes de contaminación?

# 1.3 Objetivo del Estudio

# 1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un análisis geoquímico de la dispersión de los principales metales pesados en sedimentos en la parte media de la cuenca del río Chillón.

# 1.4 Hipótesis

#### 1.4.1 Hipótesis General

Al efectuar un adecuado procesamiento geoquímico de los valores de dispersión de los principales metales pesados en sedimentos, se determinará sus fuentes de aporte y se precisará su dispersión y afectación al medio ambiente y a los seres humanos principalmente.

#### 1.4.2 Definición de Variables

# 1.4.2.1 Variable Independiente

Fuentes y áreas de contaminación. Análisis geoquímico de la dispersión de los principales metales pesados en sedimentos.

# 1.4.2.2 Variable Dependiente

Metales pesados en sedimentos.

# 1.5 Antecedentes Investigativos

Existen diversos estudios y proyectos realizados en la cuenca del río Chillón, entre los años 1960 al 1980 y 1995 hasta la actualidad, desarrollados para resolver las diferentes necesidades por parte de varias entidades públicas y no gubernamentales.

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) en el año 1969 realizó estudios técnicos más completos dentro de la cuenca, así como también la misma institución ha realizado el inventario de lagunas a nivel nacional (1967) dentro del cual incluye esta cuenca. Sin embargo, la Cuenca del río Chillón requiere de estudios de investigación geológica, como la prospección geoquímica detallada de metales pesados que en porcentajes desproporcionados son dañinos para la salud y el medio ambiente, a fin de mantener éstos elementos químicos en proporciones saludables para los seres humanos y demás seres vivos además de conservar el equilibrio del ecosistema en las zona de trabajo, con proyección a estudios y aplicaciones similares en otras zonas y regiones del territorio o fuera de él con características contaminantes parecidas.

Estudios realizados por el Servicio Geológico (INGEMMET) hasta la actualidad, son de gran importancia para conocer, prevenir y resolver la contaminación y sus efectos negativos de sanidad y del medio ambiente.; Los centros mineros de los operadores artesanales se encuentran al este del distrito de Yangas, cuyo territorio se extiende en la parte media de la cuenca del río Chillón, en región Yunga. Los trabajos geológicos recientes (Minera Yangas Canta, 2010), se enfocan en estudios del potencial minero de la zona en mención, pero es necesario complementar esta información, con

investigaciones sobre la dispersión contaminante de metales pesados en el área de estudio.

A continuación, se presenta trabajos de investigación, tesis de pre y posgrado presentadas en diversas universidades nacionales e internacionales, así como investigaciones realizadas por diversos autores internacionales.

#### 1.5.1 Antecedentes Internacionales

- Mora Abrahán, e al (2016) "Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador", [5] se desarrolló esta investigación para demostrar los factores de enriquecimiento de estos elementos en sedimentos, las secciones medias y baja del río Puyango se encuentran severamente contaminados con los elementos Hg, Cu, Pb, Zn y Mn, así como moderadamente contaminados con Co y Fe. Las altas concentraciones de Hg, Cu, Pb, Zn, Mn y Fe en los sedimentos de esta cuenca producirán un efecto adverso para la flora y fauna de la región, de acuerdo con los criterios establecidos en normas internacionales
- Espinosa Luisa Fernanda, Parra Juan Pablo y Villamil Carlos, (2011) "Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los Manglares de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia (CGSM)"[4] El ecosistema de la CGSM ha estado sometido a fuertes cambios debido a la acción humana que han ocasionado, modificaciones en las características fisicoquímicas de sus sedimentos, sin embargo los sedimentos transportados presentan bajas

concentraciones de metales pesados en consecuencia no representan riesgo ambiental.

- Calderón Cesar y Valdés Jorge, (2012) "Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile" [5] las actividades antrópicas desarrolladas en la zona causarían un impacto sobre el contenido de metales en los sedimentos marinos, y que los puertos de embarque de mineral son un riesgo para las comunidades de organismos bentónicos, sin embargo, no hay evidencia de acumulación de metales pesados en estos organismos.
- Ramírez Catalina, Lacassie Juan Pablo, Baeza Leonardo, (2011) "Metodología para la identificación de zonas de anomalía geoquímica en la Cordillera de la Costa entre los 20° y 21°S, Región de Tarapacá-Chile." [3] el estudio de un elemento o un conjunto de elementos que destacan zonas donde estos valores alcanzan su máxima expresión, mediante una técnica de interpolación geoestadística conocida como kriging. De ella destacan tres zonas, la primera concentra outliers superiores de Cu, en la segunda predominan los de U y Fe2O3, y la tercera de Ag y Au. El uso del Índice de Anomalía resulta una herramienta eficaz para favorecer la exploración geoquímica delimitando zonas donde las concentraciones de determinados elementos sean altas.
- Peinado Domínguez Soraya, (2013). "Distribución de los elementos metálicos en los distintos componentes del sedimento de la Cuenca del Río Tuy" [9] estudió la distribución de los elementos Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Cr, Co, Cd, Pb y Ni, en los componentes (iones adsorbidos, carbonatos e iones fuertemente)

adsorbidos, oxi-hidróxidos, materia orgánica y residual) de los sedimentos contaminados y no contaminados del Río Tuy y de sus afluentes. Los parámetros físico-químicos y el análisis en los sedimentos indica que las zonas más contaminadas son; Cúa (por Mg, Zn, Ca, K, Ni y Cu), Santa Teresa (por Mg, Ca, Na y Ni), Araguita (por K, Pb, Zn y Ca) y Panaquire (por Cu). Adicionalmente los resultados indican que el Ca y el Mn presentan mayor acumulación en las fases de carbonatos e iones fuertemente adsorbidos (60%) e oxi-hidróxidos (65%) respectivamente, mientras que el resto de los elementos están asociados a la fracción residual (50-99) %. Al comparar en las fases de los sedimentos contaminados y no contaminados el Ca y K están asociados a oxi-hidróxidos en sitios no contaminados y a carbonatos e iones fuertemente adsorbidos en los contaminados. Mientras que Co está asociado en forma contraria: por otro lado, el Zn lo hace con la materia orgánica en los no contaminados y a oxi-hidróxidos en los contaminados.

#### 1.5.2 Antecedentes Nacionales

• Quispe Yana Raúl, (2017) "Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el rio Coata" [7] en el área de estudio actualmente los principales contaminantes son generados por la actividad antropogénica y es uno de los principales problemas en el marco ambiental, indica que los pobladores de la ciudad de Juliaca son los principales generadores de residuos tóxicos, sin embargo los análisis indican que el Cr es el único metal que se encuentra por encima de los estándares de calidad.

#### 1.6 Generalidades de la Zona de Estudio

# 1.6.1 Ubicación y Accesibilidad

#### 1.6.1.1 Ubicación

La zona de estudio, se ubica en el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, (departamento Región Lima). Encontrándose más próxima a la localidad de Yangas, que es la capital del distrito.

Su ubicación geográfica, corresponde a la coordenada UTM 8700100 N, 300250 E, en la hoja de Chosica (24-j) de la Carta Geográfica Nacional que corresponde a la parte media de la cuenca del río Chillón. Esta cuenca, limita por el norte con la cuenca de río Chancay-Huaral, por el sur con la cuenca del río Rímac, por el este con la cuenca del río Mantaro, y por el oeste con el litoral peruano.

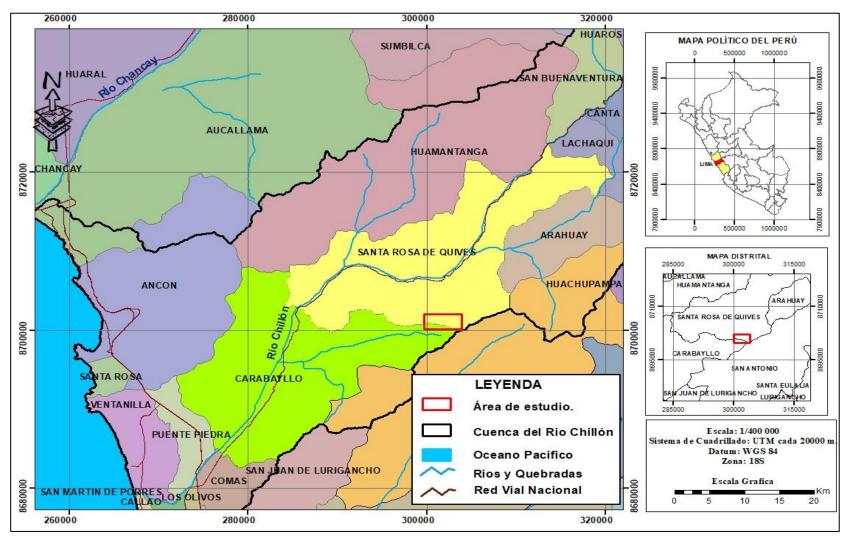


Figura N°1.2: Mapa de Ubicación.

Fuente: Geocatmin, Mapa Político, Mapa Distrital y Mapa Hidrográfico.

#### 1.6.1.2 Accesibilidad

El acceso desde Lima, tiene como eje de comunicación, la carretera asfaltada Lima – Canta hasta el kilómetro 31.5.

El detalle del recorrido, distancia y tiempo, es el siguiente:

- Lima Vía Túpac Amaru Vía asfaltada 22 Km, tiempo de recorrido 40 minutos
- Vía Túpac Amaru Desvío Fdo. Cassinelli vía asfaltado 18 Km, tiempo de recorrido 30 minutos.
- Fdo. Cassinelli Zona Lajas Trocha carrozable, tiempo de recorrido 50 minutos.



Figura N° 1.3: Mapa Satelital de Ubicación y Acceso.

Fuente: Google Earth (2021), Mapa Satelital vista en planta.

# 1.6.2 Fisiografía

## 1.6.2.1 Geografía

Geográficamente el área de estudio se encuentra entre el borde Oriental de la franja costanera y la región pre - cordillerana de la cordillera Occidental de los Andes. La topografía es Montañosa, con quebradas muy desarrolladas, siendo el Río Chillón el colector principal que desembocan al Océano Pacífico. La altura promedio es de 2300 msnm. Teniendo la mayor altura hacia el Este con 2500 msnm y la menor hacia el Oeste con 2200 msnm.

# 1.6.3 Clima, Flora y Fauna

La provincia de Canta tiene un clima templado, seco y caluroso durante el día; presenta algo de frío durante la noche. La temperatura oscila entre los 11°C y 15°C en invierno, y entre 12°C y 20°C durante el resto del año. En esta provincia, la temporada de lluvias se inicia en diciembre y perdura hasta principios de abril.

La fauna del área de estudio está compuesta por una gran variedad de animales silvestres, entre los que se encuentran el conejo, ardilla liebre, tuza, tejón y víbora.

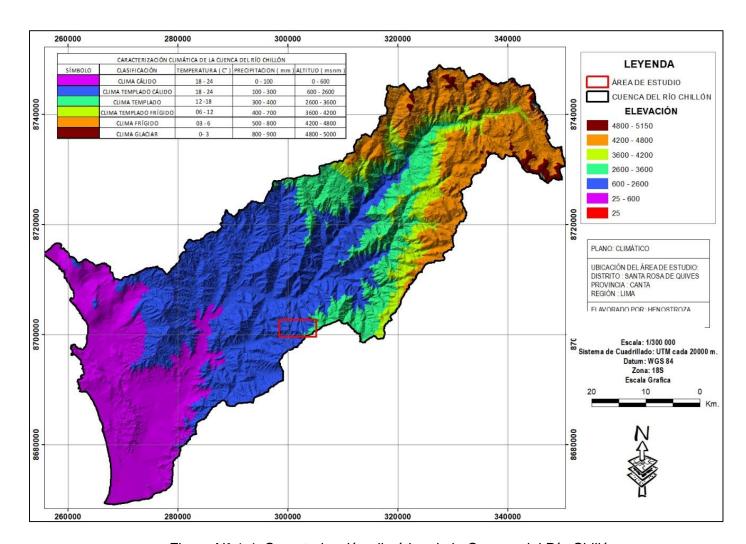


Figura N° 1.4: Caracterización climática de la Cuenca del Río Chillón.

Fuente: Geocatmin Cuencas Hidrográficas del Perú.

# 1.6.4 Hidrografía

El río Chillón, que nace en la laguna de Chonta y tiene una trayectoria de 120 km, se localiza en las provincias de Canta y Lima de la Región Lima. DIGESA, entidad facultada para el monitoreo, tiene establecido 14 estaciones a lo largo del río Chillón, desde la localidad de Huaros hasta la desembocadura en el océano Pacífico.

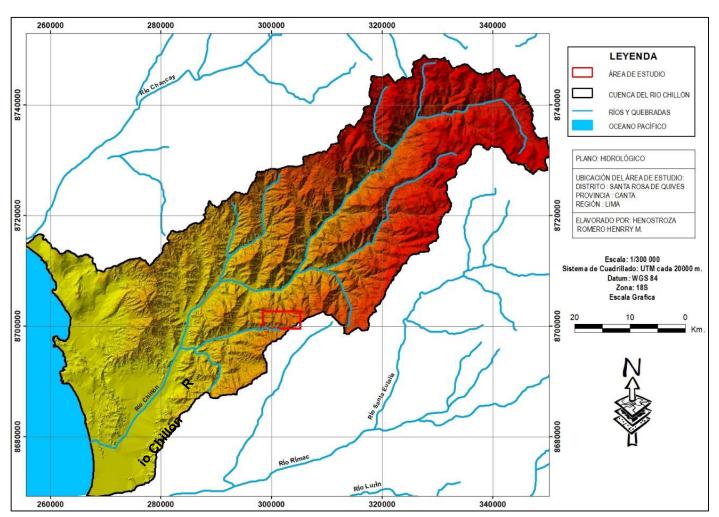


Figura N° 1.5: Red Hidrográfica de la Cuenca del Río Chillón.

Fuente: Geocatmin Cuencas Hidrográficas y Redes Hidrográficas del Perú

#### **CAPITULO II**

#### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1 Marco Teórico

# 2.1.1 Metales pesados

Fernández J. L. (2005). Existen varias maneras de definir el término "metal pesado", una de ellas es referida al peso atómico y definiría un metal pesado como un elemento químico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg); otra manera se refiere a los metales de densidad entre 4 g/cm³ hasta 7 g/cm³ y también hay otra clasificación referida al número atómico.

No todos los metales de densidad alta son especialmente tóxicos en concentraciones normales (algunos de ellos son necesarios para el ser humano). No obstante, hay una serie de metales pesados más conocidos por su tendencia a representar serios problemas medioambientales el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el talio (TI), así como el cobre (Cu), zinc (Zn) y el cromo (Cr). En ocasiones se incluye a otros elementos tóxicos ligeros como el berilio (Be) o el aluminio (Al), o algún semimetal como el arsénico (As).

Según la Unión Europea los once metales pesados más importantes son arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo, estaño y talio, de los cuales sus emisiones en incineradores están reguladas. Algunos de ellos son necesarios para los humanos en pequeñas proporciones tales como cobalto, cobre, cromo, manganeso y níquel, mientras otros son carcinogénicos o tóxico.

# 2.1.2 Concepto de sedimentos.

Basile Pedro (2018), el término sedimento es usado en el contexto de sedimento aluvial, es decir, partículas minerales y/o fragmentos de roca parental, que han sido erosionadas, transportadas y depositadas por el flujo hídrico. García J. (1999) define los sedimentos como: las partículas de origen mineral u orgánicos arrastrados por un fluido. Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar o la parte baja de la cuenca. Ahumada J. (2008), Los sedimentos por sí mismos constituyen un reservorio natural de metales pesados. Son excelentes adsorbentes de contaminantes, actúan como portadores y fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y son liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos. Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida, etc.).

## 2.1.3 Tipos de Depósitos de Sedimentos.

## 2.1.3.1 Depósitos de sedimentos coluviales.

Basile Pedro, (2018) Los depósitos de sedimentos coluviales están formados por material detrítico que es dirigido a la parte baja por la acción de la gravedad y es acumulado formando taludes y conos de derrubios al pie de laderas. Su composición es idéntica al material originario. El tamaño de los fragmentos es relacionado con la estructura de la roca parental.

## 2.1.3.2 Depósitos de sedimentos aluviales.

Basile Pedro, (2018) Los depósitos de sedimentos aluviales son formados por los materiales detríticos transportados por el agua y depositados debido a una pérdida de competencia del flujo (disminución de velocidad). Sedimentos fluviales es el término general de los detritos que forman los depósitos dejados por un río, los cuales incluyen material fino (limo, arcilla) y material grueso (arena, grava, cantos rodados, etc.).

## 2.1.3.3 Depósitos de sedimentos eólicos.

Basile Pedro, (2018) Los depósitos de sedimentos eólicos han sido transportados por el viento. Ejemplo de tales depósitos lo constituyen las dunas desérticas y el loess. Estos depósitos están compuestos por arena muy fina a fina y limos, generalmente son muy permeables y erosionables.

## 2.1.3.4 Depósitos de sedimentos glaciares.

Basile Pedro, (2018) Los materiales detríticos transportados por el hielo se denominan derrubios glaciares, cuyos tamaños son del orden del milímetro hasta grandes bloques

de decenas de metros. La deposición de estos detritos se produce con el derretimiento del hielo, al variar las tensiones de corte ejercida por la masa de hielo o al cesar el movimiento. Los sedimentos derivados del hielo glaciar forman acumulaciones detríticas sueltas que se denominan genéricamente tills. Las morrenas son acumulaciones de tills que forman paisajes con suaves colinas. Basile P, (2018).

# 2.1.4 Kriging

Armstrong, M. (1998). Kriging es un método de inferencia espacial, el cual permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra. El método está planteado de manera que produce el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima.

# 2.1.5 Arsénico (As)

Fernández J. L. (2005). El arsénico es un metaloide que en ocasiones se encuentra en el agua por vía natural, a través de la deserción y disolución de minerales durante la meteorización, las emisiones volcánicas a la atmósfera y los ascensos de fluidos magmáticos e hidrotermales asociadas a la cordillera de los Andes. Su dispersión secundaria se logra a través de aguas superficiales, lo que ha sido el mecanismo dominante que ha transportado el arsénico hasta las costas del Océano Pacífico y Atlántico.

## 2.1.6 Software Surfer

Zheng Q. (2010). El software Surfer es un programa procesador bidimensional y tridimensional de interpolación de datos, en modo raster o imagen, utilizado ampliamente para el modelamiento 3D del terreno, modelamiento batimétrico,

visualización del paisaje, análisis de superficies, cartografía de curvas de nivel, cartografía de superficie 3D, grillado y volumetría, entre otros.

## 2.1.7 Niveles de fondo

Ramos L. (2002), no existe un criterio común universalmente aceptado para la definición de los niveles de fondo. Sin embargo, diferentes autores como Chen et al. (1999), definen al nivel de fondo como el rango de concentración alrededor de la media en suelos no contaminados. Asimismo, el Modelo Toxics Control Act (MTCA, Ch. 173-340-200 WAC), lo define como la concentración de sustancias peligrosas, presentes de forma sistemática en el medio natural, que no han sido influenciadas por actividades humanas localizadas.

En ese mismo sentido, Miguel et al. (2002) manifiestan que los valores de fondo caracterizan la situación real de los suelos naturales de una región en el momento de su estudio. En consecuencia, dichos valores de fondo describen la distribución de valores de concentración de los diferentes elementos químicos en los suelos de una región no afectada por actividades. Antrópicas.

# 2.1.8 Especiación química

la especiación es importante en muchos campos de la ciencia y la salud, ya que ofrece información relacionada con la biodisponibilidad y la toxicidad de un elemento.

## 2.1.9 Valor de referencia

Miguel et al. (2002), denomina al valor de referencia como aquel cuya superación por unidad muestra, de la población actual caracterizada sea poco probable y que, por

tanto, si no habido modificaciones de las condiciones de muestreo, sea también poco probable su superación por unidad muestra, Obtenida posteriormente.

# 2.2 Marco Conceptual

## 2.2.1 Carga

Perry y Taylor, (2007). Hay tres tipos de carga principales; sólidos disueltos, sólidos suspendidos y sedimentos de fondo, siendo los sólidos totales en estos sistemas la suma de todos ellos. Estos sólidos además de poseer una composición granulométrica y mineralógica determinada, contienen otras sustancias, que son contaminantes, producto de actividades antrópicas, que están presentes alrededor de estos sistemas, adicional a esto, estos sólidos aumentarían la turbidez de las aguas y disminuir la calidad de las mismas

#### 2.2.2 Transporte

Boggs S. (1995), El desplazamiento de fragmentos erosionados a otras zonas por medio de corrientes de agua, viento y glaciares, es denominado transporte (Boggs S. 1995; Arche A.1992). Durante el transporte, los fragmentos continúan erosionándose, si el recorrido es corto, los mismos serán mayormente de hábito angulares, por el contrario, si el recorrido es largo, los mismo serían más redondeados, debido a los distintos efectos erosivos, que han actuado durante más tiempo.

# 2.3 Metodología de la Investigación

## 2.3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

## 2.3.1.1 Enfoque

El tipo de investigación desde el punto de vista de enfoque es cuantitativo porque de las siete características epistemológicas cinco la definen, razonamiento porque es deductivo, percepción de la realidad porque es objetiva, finalidad porque es comprobable, orientada al resultado y causal por antecedentes específicos.

#### 2.3.1.2 Alcance

El tipo de investigación desde el punto de vista de alcance es correlacional porque se desarrollará comparaciones entre los datos obtenidos en el muestreo y la normatividad general a nivel nacional.

## 2.3.1.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación es experimental porque se a llevar a cabo el análisis de muestras de sedimentos en el área de estudio.

## 2.3.2 Unidad de Análisis

## 2.3.2.1 Características Especificas

La zona de estudio está ocupada por mineros artesanales informales en una cantidad aproximada de 2000, distribuidos en toda la parte ancha de la quebrada, junto a los afloramientos mineralizados (Minera Yangas. Canta 2010). En el 2021 el número de mineros artesanales informales en proceso de formalización, sería del alrededor de 2100.

El desarrollo y la metodología de trabajo son muy similar a lo que realizan los mineros artesanales del sur medio. Como los campamentos, no cuentan con agua potabilizada, el agua es transportada en bidones para el consumo doméstico; tampoco cuentan con energía eléctrica. Se observar la natural estructura familiar con mujeres y niños que participan en actividades colaterales o del hogar (Minera Yangas. Canta 2010), estructura similar que se mantiene actualmente donde las mujeres y niños participan en actividades como, la preparación de alimentos y el pallaqueo.

La zona involucra mayormente rocas de origen magmático (Batolito de la Costa) cuya edad corresponde al Cretáceo Superior (complejo Santa Rosa) y los volcánicos del Cretáceo Inferior (volcánicos Yangas), que hasta el momento solo se han definido como rocas encajonantes de estructuras mineralizadas (Minera Yangas. Canta 2010).

En lo referente a la mineralización en este lugar, ésta corresponde principalmente a la presencia de oro (continuación de la franja cupro-aurífera Nasca-Ocoña) con algunos valores de cobre, de geometría filoniana, que provienen de procesos hidrotermales en el Batolito de la Costa. Todos estos sistemas están erosionados, los potenciales no son mayormente expectantes y además en el caso de la minería artesanal aporta ingresos económicos limitados (Minera Yangas. Canta 2010).

En el curso de estos últimos años, y considerando los precios actuales del oro, se ha producido variación importante, sobre todo en lo referido a la zona de estudio, (Minera Yangas. Canta 2010).

El incremento del precio de metales principalmente de Au y Cu, en lo que va el primer semestre del año 2021, ha propiciado la apertura de nuevas labores Mineras, incrementando significativamente los trabajos artesanales, actualmente existen

alrededor de 2100 labores mineras en el cual trabajan de 10 a 15 personas por cada labor.

El pallaqueo es otra actividad que se ha incrementado considerablemente donde madres y niños se dedican a la recolección de minerales de alta ley.

El aumento de estas actividades en el 2021, tiene como consecuencia el aumento de la contaminación del área de estudio y zonas aledañas a ella.

# 2.3.3 Matriz de Consistencia

**Título**: "Procesamiento de Valores Geoquímicos de Metales Pesados en Sedimentos de Suelos, en la parte Media de la Cuenca del Río Chillón, para determinar las Fuentes de Contaminación y el Proceso de su Reducción´´

Tabla N° 2.1: Matriz de consistencia.

			VARIABLES		
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	INDICADORES
¿En qué medida los altos valores no permisibles en los resultados de los análisis geoquímicos de metales pesados en sedimentos, inciden en la no reducción de las fuentes de contaminación?	Desarrollar un análisis geoquímico de la dispersión de los principales metales pesados en sedimentos en la parte media de la cuenca del río Chillón.	Al efectuar un adecuado procesamiento geoquímico de los valores de dispersión de los principales metales pesados en sedimentos, se determinará sus fuentes de aporte y se precisará su dispersión y afectación al medio ambiente y a los seres humanos principalmente.	Metales pesados en sedimentos.	•	

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

# 2.4 Normas y Reglamentaciones

## 2.4.1 Marco Legal.

La Constitución Política del Perú del año (1993), las normas ambientales, permiten ejecutar y viabilizar instrumentos de gestión ambiental, que constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario, para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales, que rigen en el país.

#### 2.4.1.1 Nacionales.

La Constitución Política del Perú del año (1993), en el Art 2°, inc. 22°, indica que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. Por tal razón la Constitución política del Perú, clasifica los recursos naturales como renovables y no renovables y los considera patrimonio de la nación (Art 66). El marco general de la política ambiental en el Perú, se rige por el Artículo 67°, en el que señala, que el Estado Peruano determina la política nacional ambiental y promueve el uso sostenible, de sus recursos naturales. Ley N° 28611: Ley General del Ambiente. D.S N° 004-2017-MINAM: Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua.

#### 2.4.1.2 Internacional

Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment CEQG, 2002. Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática, de las Directrices Canadienses de Calidad Ambiental.

# CAPITULO III MARCO GEOLÓGICO

# 3.1 Geología Regional

# 3.1.1 Geomorfología

El relieve de la Cuenca del Río Chillón es de forma alargada, fondo profundo y pendiente pronunciada. En dirección al océano Pacífico, la cuenca se encuentra enmarcada por cadenas de cerros cuyas cumbres presentan un sostenido y rápido descenso del nivel. En la parte baja de la cuenca, como resultado de la disminución brusca de la pendiente, se encuentra el valle que es una franja de territorio costeño poco accidentada y ligeramente ondulada entre los Andes y el mar, donde se desarrollan cultivos de maíz principalmente. [13]

En la Figura N° 3.1 se muestra el Perfil Morfológico de la Cuenca del Río Chillón desde la Cordillera La Viuda hasta el Mar Costero.

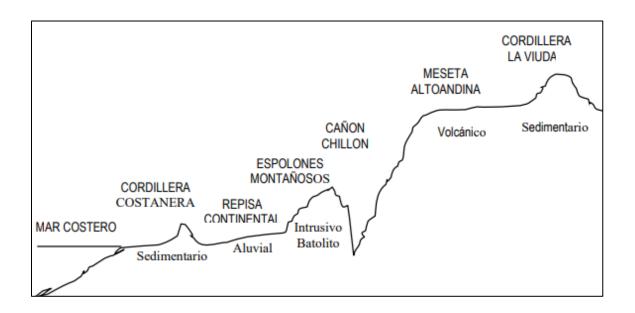


Figura N° 3.1: Perfil Morfológico de la Cuenca del Río Chillón.

Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima, (2017) "Diagnostico Ecológico Físico de la Cuenca del Río Chillón ".

Las estructuras morfológicas destacables son las siguientes:

- a) La Repisa Continental y Cordillera Costanera Callao Carabayllo, formada por planicies, terrazas y colinas; entre 0,0 y 700 m.s.n.m. Muy favorables para la ocupación socioeconómica. Se encuentra la Ciudad de Lima Metropolitana y El Callao. Caracterizada por la aridez y temperaturas cálidas.
- b) Los Espolones Montañosos entre 300 y 3800 m.s.n.m. de morfología muy irregular
   y abrupta, con fuertes pendientes, muy limitativo para la ocupación humana.
   Caracterizados por su aridez y climas de cálidos a templados.
- c) El Cañón Chillón Arahuay, Formado por la incisión muy profunda de los Ríos
   Chillón y Arahuay sobre el Batolito Andino y el Volcánico Terciario. De más de 2250 m

de profundidad entre la cornisa alta y el fondo del valle, de Morfología muy abrupta y acantilados. Caracterizado por su aridez y climas cálidos a templados.

- d) La Meseta Altoandina, formada por los derrames volcánicos de lavas, sobre los 3800 m.s.n.m. Caracterizado por la pluviosidad, clima frío y peri-glacial.
- e) La Cordillera La Viuda formada por el levantamiento Andino de la Cordillera Occidental, Caracterizada por su morfología muy empinada y abrupta de difícil acceso; clima muy frío a gélido glacial.

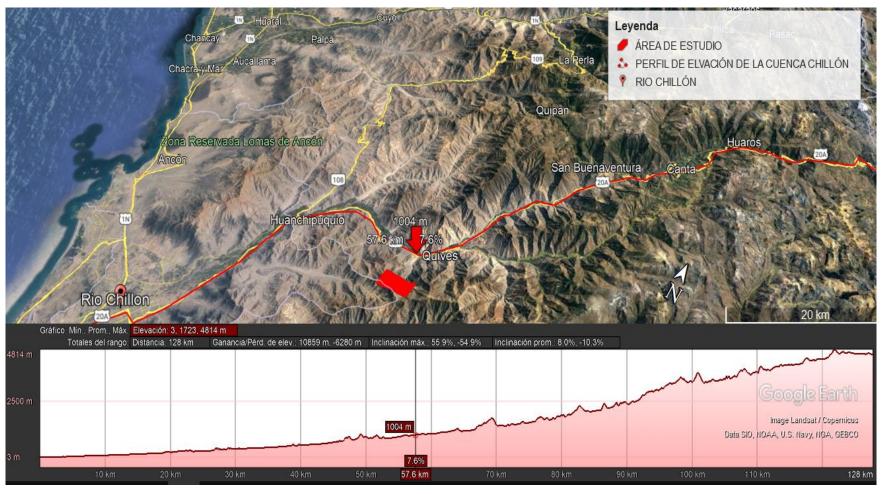


Figura N° 3.2: Perfil de Elevación de la Cuenca del Río Chillón.

Fuente: Google Earth 2021.

# 3.1.2 Litología

En la Cuenca Hidrográfica del Río Chillón existen rocas intrusivas graníticas muy extensas en la parte media de la Cuenca; que conforman el denominado Batolito Andino que recorre longitudinalmente el Flanco Occidental de la Cordillera Occidental.

Regionalmente en el Batolito de costa afloran principalmente rocas ígneas y sedimentarias, se han reconocido cuerpos subvolcánicos emplazados en forma de stocks y diques, resultado de manifestaciones del vulcanismo cretácico. La secuencia sedimentaria la conforman rocas del Cretáceo Inferior y Jurásico Superior (formaciones Yangas y Arahuay), que corresponden a andesitas masivas, lodolitas, margas silicificadas con chert, tobas blanquecinas, lutitas y areniscas respectivamente.

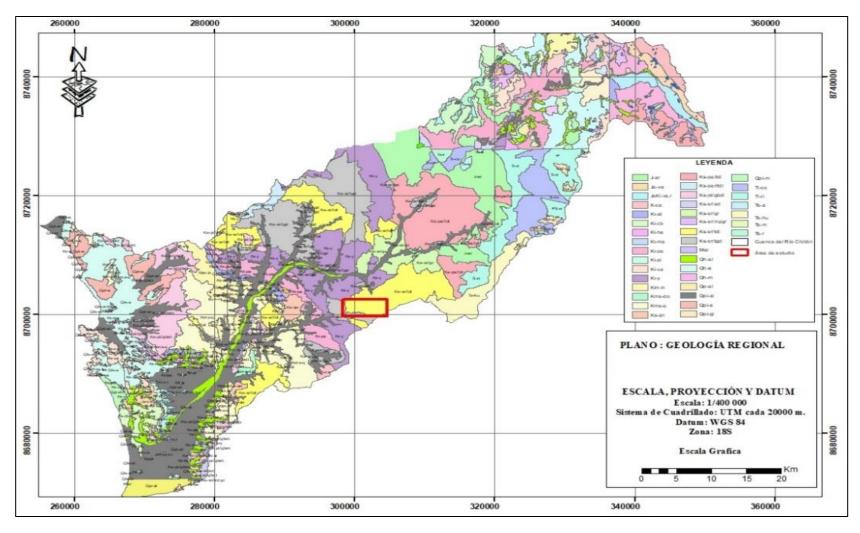


Figura N° 3.3: Mapa Geológico Regional de la cuenca del rio chillón (Escala adecuada Anexo N° 1).

Fuente: Geocatmin Cuencas Hidrográficas y Geología Regional Cuadrante 23j.

## 3.1.2.1 Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio se enmarca en la cuenca de Lima, la cual se ubica en el sector occidental y central del Perú. En dicha cuenca se distinguen cuatro ciclos sedimentarios, que comprenden desde el Jurásico hasta el Cretácico Superior. La estratigrafía del área que comprende la hoja de Chosica está formada por:

## **Grupo Rímac (Terciario Inferior)**

(Vela, Ch., 1992), Esta unidad se ha reconocido ampliamente en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental Andina en el cuadrángulo de Matucana y Huarochirí llegando a la parte oriental de los cuadrángulos de Lurín y Chosica, depositándose en el Grupo Casma. En el cuadrángulo de Lurín y Chosica, este grupo se manifiesta igualmente con una interposición de rocas volcánicas mayormente piroclásticas y sedimentarias que alteran a una coloración rojizo violácea muy característica.

## Volcánico Quilmaná (Cretáceo Superior)

(Vela, Ch., 1992), Están constituidas por rocas piroclásticas y derrames andesíticos masivos con niveles de lavas de estructuras almohadillas y amigdaloides con intercalaciones esporádicas de arenisca volcánica.

## Volcánico Huarangal (Cretáceo Superior)

(Vela, Ch., 1992), En el Valle de Chillón, entre los cuadrángulos de Chancay y Chosica, sobre las calizas Atocongo y en contacto normal, se continúa una secuencia volcánica clástica denominada formación Huarangal, en la que se puede reconocer tres niveles característicos, cuyos grosores son variables en cada localidad. Está constituida, en la base, por andesitas piroclásticas, lavas dacíticas gris verdosas porfiríticas con admigdalas de calcitas y piroxenos epidotizados de color verde botella.

En la parte media se ha reconocido andesitas piroclásticas gris verdosas, calizas margozas, cherts gris marrón, areniscas volcánicas. En la parte superior, se presentan aglomerados andesíticos porfiríticos en bancos masivos, brechas piroclásticas andesíticas.

# Formación Atocongo (Cretáceo Inferior)

(Vela, Ch., 1992), En el valle del Río Chillón, entre las quebradas Garay, Quilca y Huanchipuquio (cuadrángulo de Chosica), se tiene una secuencia calcárea que descansa en contacto concordante y gradacional sobre la formación Pamplona, e infrayace a los volcánicos clásicos definidos en el cuadrángulo de Chancay como formación Huarangal la misma que se le ha revelado como formación Atocongo por su similitud litológica con la localidad típica, así como por sus relaciones estratigráficas.

## Volcánico Yangas (Cretáceo Inferior)

(Vela, Ch., 1992), Se denomina así a una serie volcánica-sedimentaria donde predominan mayormente rocas volcánicas, se observa en las inmediaciones del pueblo de Yangas.

Es una secuencia gruesa constituida por lavas andesíticas masivas y margas silicificadas conteniendo chert blanco y oscuro, a diferentes niveles se intercalan limonitas endurecidas en la parte superior, areniscas de grano fino de coloración gris a negro, así como limonitas tobáceas. Se le atribuye edad Cretáceo Inferior.

# Formación Arahuay (Jurásico)

(Vela, Ch., 1992), Se denomina así a una serie volcánica-sedimentaria, donde predominan mayormente rocas volcánicas, se observa en las inmediaciones del pueblo de Yangas.

ERA	SISTEMA	SERIE	SIMBOLO	NOMRE DE LA UNIDAD
	S SEDIMENTARI		SIMBOLO	NOMRE DE LA UNIDAD
RUCA	S SEDIMENTARI	A3	Qr-fmf	Fondo marino fangoso actual
SA.		RECIENTE	Qr-fma	Fondo marino arenoso actual
			Qr-fmg	Fondo marino gravoso actual
			Qr-ma	Depósitos marino arenosos actuales
			Qr-mg	Depósitos marinos gravoso actuales
				Depósitos marinos gravoso actuales  Depósitos aluviales gravosos
			Qr-fg	actuales
			0	Morrenas glaciales
			Qr-mg Qr-hf	Humedal fangoso actual
			Qr-du	Desmontes urbanos
	CUATERNARI O			
			Qr-drs	Depósitos de residuos sólidos
CENOZOICA			0	urbanos
Ž			Qpr-e	Depósitos eólicos antiguos y
2				recientes
H H			Qpr-ae	Depósitos aluviales y eólicos
			Qpr-bo	Bofedal fangoso actual
			Qp-mc	Depósitos marinos conchales
			Qp-fg	Depósitos fluvial gravoso antiguos
			Qp-daa	Depósitos aluviales arcillosos
				antiguos
		PLEISTOCEN O	Qp-e	Depósitos eólicos antiguos
			Qp-al	Depósitos aluviónicos antiguos
			Qp-mo	Depósitos de morrenas glaciales
			Qp-d	Deslizamientos
		SUPERIOR	Tis-vc	Volcánicos terciarios
	TERCIARIO	INFERIOR		
		SUPERIOR	Ks-j	Fm. Jumasha
		MEDIO	Kms-q	Volc. Quilmaná
			Kim-h	Volc. Huarangal
			Ki-at	Fm. Atocongo
			Ki-pa	Fm. Pamplona
	00574050		Ki-m	Marcavelica Ki-y Yangas
4	CRETACEO	I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	Ki-h	Herradura Ki-y Yangas
읒		INFERIOR	Ki-y	Yangas
MESOZÓICA			Ki-sf	Salto El Fraile
			Ki-cb	Fm. Casa Blanca Ki-va Volcánico
				Ancón
			Ki-v	Fm. Ventanilla Ki-va Volcánico
			17: .	Ancón
			Ki-pi	Fm. Puente Inga Ki-va Volcánico
			Vi va	Ancón Volc. Ancón
	-		Ki-va JsKi-sr	Volc. Ancon Volc. Santa Rosa
	JURASICO	SUPERIOR	JsKI-sr J-ar	
POCA.	S INTRUSIVAS	SOI LINOR	o-ai	Fm. Arahuay
KOCA	S INTROSIVAS	I	1	T
Z				
≥ 5	TERCIARIO	SUPERIOR	Ts-in	Intrusivos Hipoabisales (diorita,
CENOZ	TENDIAMO	COI ENION	1 3-111	andesita)
MESOZOIC A	ODETAGEG	0.1.000		Intrusivo Granítico Batolítico
				(granodiorita, tonalita, diorita,
A A	CRETACEO	SUPERIOR	Ks-in	adamelita, gabro, monzonita).
Š				Minaralización ace es elet
×				Mineralización con oro, plata en
	ı	1	I	vetas

Figura N° 3.4: Estratigrafía Regional, Cuenca del Río Chillón.

Fuente: Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima, (2017) "Diagnostico Ecológico Físico de la Cuenca del Río Chillón ".

## 3.1.3 Geología Estructural

La estructura geológica de la Cuenca Chillón, está definida por los fracturamientos, fallamientos y plegamientos debido a la deriva continental de la Placa Tectónica Sudamericana sobre el fondo del Océano Pacífico Oriental. Este proceso tectónico ha dado lugar a la formación de la Cordillera de Los Andes, el mismo que está generando los fallamientos en el flanco occidental y la Plataforma Continental; donde se han formado bloques corticales separados por fallas longitudinales y transversales de dimensiones locales y regionales. Las fallas más importantes y de formación reciente, son:

Falla Márquez – San Diego. - Es una falla transversal muy reciente, que ha cortado la Cadena costanera Oquendo - Ventanilla, formando una fosa que ha capturado al Río Chillón y lo ha desviado hacia el oeste, de su rumbo anterior Suroeste (SW). Formando el Cañón de Pampa de Los Perros. Esta fosa es la más activa, reciente en Lima.

Falla La Pampilla – Ventanilla – Villa Los Reyes. - Ha formado las quebradas donde se han instalado la Refinería de La Pampilla, los Asentamientos Humanos Angamos, Ventanilla Baja, Mi Perú, Progreso y Villa los Reyes. Consiste de una zona de debilidad cortical frente a sismos fuertes.

Falla de Sobre escurrimiento Ancón – Puente Piedra – Comas. - Falla que separa las estribaciones andinas de la cordillera costanera Chillón - Ventanilla - Ancón; ha formado la depresión Puente Piedra - Carabayllo (área agrícola).

Falla de Sobre escurrimiento Ingeniería – Independencia – Comas – Carabayllo – Caballero – Trapiche – Macas – Socos. - Falla que separa la repisa deltaica entre el Río Chillón y el Río Rímac, sobre la cual se ubica el Cono Norte de Lima metropolitana; y donde se ha instalado el Río Chillón desde Macas hasta Comas. A partir de esta gran

falla, se han originado las fallas que han dado lugar a las quebradas Huarangal, Macas y Quilca; en forma de abanico.

Falla Canto Grande – Carnero – Caballero - Leticia – Carrizal – Portachuelo – Tingo.

Falla regional longitudinal paralela a la Cordillera Occidental. Formada por el levantamiento escalonado de la Cordillera Occidental.

Falla Caballero – Encañada – Piedra Batán. - Falla transversal que empieza en el valle Chillón, cruza la falla regional y llega hasta las nacientes de la Quebrada. Caballero. [13]

#### 3.1.4 Evolución Tectónica.

El borde Occidental Andino. Fue afectada por una tectónica polifásica desarrollada durante la Orogénesis Andina, la misma que dio lugar a una deformación con plegamientos y rupturas.

En el sector este del cuadrángulo de Chosica (Borde Occidental Andino) las rocas Mesozoicas se encuentran igualmente afectadas por la Tectónica Andina que se manifiesta en el área desde fines del cretáceo. Se caracteriza por ser una fase tectónica de compresión, con sus ejes de acortamiento (presión) en dirección NE-SO.

El desarrollo estructural en el Cretáceo Superior continuo en el Terciario Inferior con una fase compresiva, que genera fallamiento y fracturamiento transversal. Ello afecto al batolito y plegó las unidades estratigráficas Mesozoicas del borde Occidental Andino, estableciéndose una superficie de erosión en los volcánicos plegados del Cretáceo, sobre la cual se depositaron nuevos sedimentos, gruesas secuencias de piroclásticos dacíticos andesíticos y lavas (Grupo Calipuy).

# 3.1.5 Metalogenia

El área de estudio, se enmarca en el segmento Lima del Batolito de la Costa, dentro de la franja metalogenética de depósitos de Au-Pb-Zn-Cu caracterizados por tener mineralizaciones en vetas con cuarzo-oro-sulfuros, hospedadas en intrusivos del Cretácico Superior y controladas por fallas transcurrentes NE-SW.

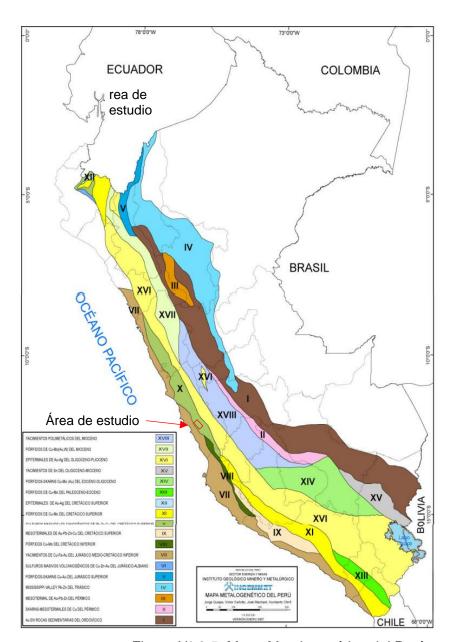


Figura N° 3.5: Mapa Metalogenético del Perú.

Fuente: INGEMMET Mapa Metalogenético del Perú 2006, publicado en enero del 2007.

# 3.2 Geología Local

# 3.2.1 Geomorfología

El relieve del área de estudio se presenta escarpada y abrupta, la mayor elevación la encontramos hacia el Este (2614m) y el punto más bajo hacia el Oeste (1978m), la inclinación máxima es de 59° (Figura N° 3.6)

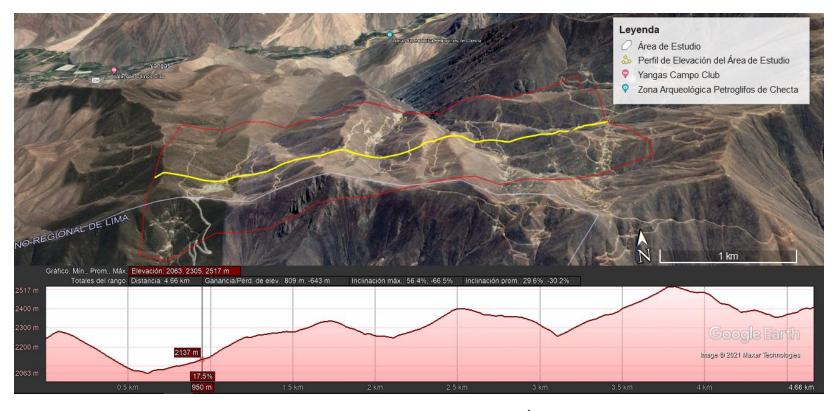


Figura N° 3.6: Mapa Geomorfológico - Satelital del Área de Estudio.

Fuente: Google Earth (2021).

# 3.2.2 Litología

La zona de estudio, donde laboran los mineros artesanales, se enmarca en el segmento Lima del Batolito de la Costa. Las rocas ígneas pertenecen a la superunidad Santa Rosa del Batolito de la Costa, están constituidas por cuerpos tonalíticos - dioríticos y tonalíticos - granodioríticos (Figura N° 3.7), los cuales representan la mayor extensión dentro del área de estudio.

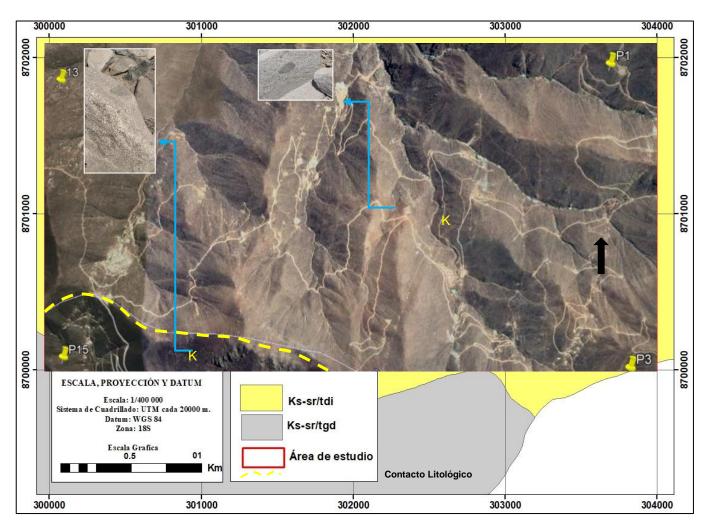


Figura N° 3.7: Mapa Litológico - Satelital del Área de Estudio.

Fuente: Google Earth - Geocatmin (2021).

## 3.2.2.1 Rocas Plutónicas

La geología de la zona de estudio, está conformada por rocas Tonalíticos dioríticos (tdi) al E, W, N y SE; Tonalíticos granodioríticas (tgd) al Sur Oeste (Figura N° 3.7), y Diorita Xenolítica en la parte Sur del área de estudio.



Roca Plutónica, Diorita Xenolítica.

En los intrusivos observados, en algunas labores de minería artesanal, se aprecia diorita xenolítica, la cual se le denomina dioritas oscuras. Estas muestran enclaves también oscuros, a manera de xenolitos, los que según Pitcher W. (1979) se debe a un proceso de refusión en profundidad, o a procesos normales de diferenciación cristalina. Estos xenolitos aparecen en todo el Batolito de la Costa de sur a norte.

La zona que resulto de interés es la parte norte del cuadrángulo de Chosica, donde se observar la prolongación de una estructura geológica que la denominamos falla Chillón, la cual recorre aproximadamente 28 km de longitud en dirección NE - SW. Esta falla aparece a la altura del distrito de Yangas y recorre el Río Chillón hasta las inmediaciones

del caserío San José (borde superior del cuadrángulo de Chosica) y se prolonga hasta el distrito de Huaros (pasando Canta), con un recorrido aproximado de 13 km de longitud.

#### 3.2.3 Alteraciones Hidrotermales

Las alteraciones hidrotermales que presenta la zona de estudio son de tres tipos: cuarzo-sericita, cloritización y argilización, controladas por fallas transcurrentes NE-SW.

## 3.2.3.1 Alteraciones Supérgena

En la superficie y alrededores de la Veta se puede observar una intensa a moderada oxidación, limonitización, hematización de los minerales primarios Py, Ch y Po, estos minerales a condiciones inestables se descomponen a través del tiempo.

## 3.2.3.2 Alteraciones Hipógena

Es la mineralización endógena constituida por óxidos, ocasionada por la acción del agua subterránea principalmente, el proceso interno de fluidos hidrotermales y magmáticos originaron este tipo de alteración. En la veta se identificó los siguientes tipos de alteraciones hidrotermales predominantes en superficie y profundidad.

## 3.2.3.3 Cuarzo-Sericita

Su ensamble característico es cuarzo – sericita - caolinita, y se evidencia al tacto en forma untuosa en los dedos, también a la lupa en forma de escamas, formado a una temperatura promedio de 250°C. Donde los minerales del grupo de los feldespatos y micas primarias se transforman en sericita. Esta alteración se observa notablemente en el contacto entre la veta y roca caja.



Alteración Cuarzo Sericita.

# 3.2.3.4 Cloritización

Esta alteración se presenta con un ensamble típico característico de clorita - calcita - pirita - epidota. La coloración es verdosa con halos muy extendidos, se observa una concentración de As, Po y Py, Se puede observar esta alteración a mayor profundidad.

# 3.2.3.5 Argilización

Existe la presencia de amplias zonas de alteración argílica acompañado con limonita producto de la alteración de la Py, As, y Po, en la parte supérgena e hipógena. Se encuentra sobreimpuesta al cuarzo - sericita, su ensamble característico es caolinita - illita - esmectita, siendo esta una combinación de arcillas su rango de alteración es de 150° - 200° C. Los minerales de arcillas reemplazan principalmente a las plagioclasas y a los minerales máficos horblenda y biotita.



Alteración Argílica en una de las labores.

## 3.2.4 Mineralización

Su mineralogía de mena en el área de estudio está asociado a vetas y vetillas de Qz. Se aprecia también Cpy, minerales de óxidos como la Hm, Lm. Los cuales se encuentran asociados a minerales de ganga conformados por Qz, Py, Ca, As y Po.

El área en sí corresponde a un depósito con contenido de oro epigenético. Este yacimiento Auro cuprífero con valores menores de Ag, Pb, Zn, se emplaza en fallas normales, cuyas soluciones mineralizantes forman depósitos de origen hidrotermal de tipo filón de relleno de fisuras con potencias de 1 a 10cm.

## 3.2.4.1 Mineralogía de Mena

## 3.2.4.1.1 Oro (Au)

Es el principal mineral de mena del yacimiento, se encuentra diseminado junto al Qz y minerales de As, Py y Po, en algunas ocasiones se encuentra libre a manera de pequeños granos o pepitas incrustados en cavidades del cuarzo, observable a simple vista o con lupa de geólogo.

## 3.2.4.1.2 Calcopirita (CuFeS2)

Es el mineral asociado a los minerales de sulfuros, siendo un sulfuro primario y mena de cobre.

# 3.2.4.1.3 Bornita (Cu5FeS4)

Mineral del grupo de los sulfuros, se presenta en pocas cantidades, siendo un sulfuro de hierro y cobre de color cobre manchado por lo que se le apoda el nombre de cuello de pichón.

# 3.2.4.1.4 Cuarzo (SiO2)

Este Mineral está distribuido ampliamente a lo largo de la Veta y en forma de vetillas, se presenta con texturas bandeada (Foto 3.4), con altas leyes de Au.



Vetillas de Cuarzo con textura bandeada.

# 3.2.4.1.5 Pirita (FeS2)

Se presenta frecuentemente macizo y granular fino incrustado como relleno en las vetas de Qz. Asociado a los minerales de mena (Au), bien cristalizado dentro de fracturas de cuarzo con tamaños de grano hasta 5 mm.



Vetillas de Cuarzo con Pirita.

# 3.2.4.1.6 Pirrotita (Fe7S8)

Es un mineral sulfuro de hierro con contenido variable de hierro, se encuentra junto a la Py, As y Cpy, de color similar a la Py. Se diferencia de esta por el fuerte magnetismo que presenta, el magnetismo varía cuando disminuye el contenido de hierro.

# 3.2.4.1.7 Arsenopirita (FeAsS)

Este mineral se encuentra asociado a la Py, Po, Cpy y Qz. Se presenta también en la roca caja en forma diseminada con color característico blanco de plata.

# 3.2.4.2 Mineralogía de Ganga

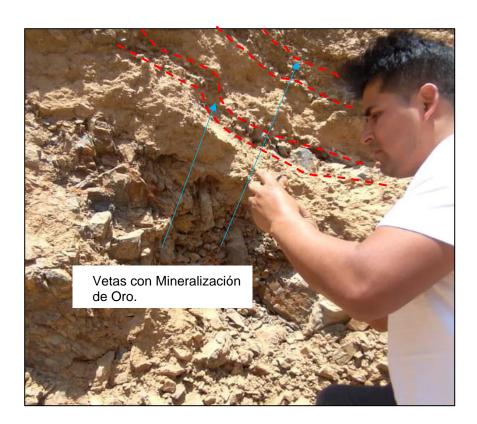
# 3.2.4.2.1 Calcita (CaCO3)

Se presenta en forma diseminada masiva y cristalizada, fácil de identificar con la ayuda de ácido clorhídrico.

# 3.2.4.2.2 **Limonita (Lm) – Hematita (Hm)**

La limonita se encuentra en las zonas de lixiviación y oxidación se forman durante la oxidación de los minerales de sulfuros. Este mineral se presenta en forma terrosa de color amarillento, es un óxido de hierro hidratado con formula Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O, siendo el resultado del producto de la alteración de Hm, Py y As. La Hm es el resultado de la alteración de minerales magnéticos por ejemplo se puede mencionar a la magnetita como principal mineral. Su fórmula química es un sesquióxido de hierro anhidro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). De color marrón rojizo o rojo.

En la siguiente foto se observan 2 vetas (2 a 4 cm) con mineralización de Oro, en Zona la Aguada.



Veta de oro, en Zona la Aguada.

# 3.2.4.3 Estudio Mineragráfico de Secciones Delgadas

Descripción de muestra tomada en el área de estudio mediante Nicoles Paralelos:

Granos de oro (Au) rellenan intersticios de las gangas (GGs) y presentan inclusiones
de arsenopirita (Apy).

# Porcentaje aproximado:

Pirita (25%), Arsenopirita (3%), Esfalerita I (Trazas), Esfalerita II (Trazas), Calcopirita I (2%), Calcopirita II (Trazas), Cobres Grises (Trazas), Galena (10%), Oro (Trazas), Gangas (60%).

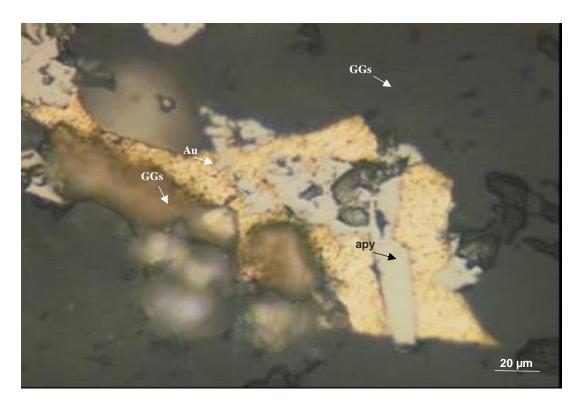


Figura N° 3.8: Nicoles paralelos en sección delgada.

Fuente: INGEMMET (2010) "Actividad minera artesanal en la cuenca del rio chillón (Minería de Yangas – canta) Región Lima".

Descripción de muestra tomada en el área de estudio mediante Nicoles Paralelos:

Ocurre pirita (Py) reemplazada por esfalerita (Ef) y con porosidades rellenas por esfalerita, se observa granos de oro (Au) en porosidad de esfalerita.

# Porcentaje Aproximado:

Pirita (15%), Arsenopirita (1%), Esfalerita I (Trazas), Esfalerita II (Trazas), Calcopirita I (1%), Calcopirita II (Trazas), Bornita (Trazas), Galena (Trazas), Calcosina (1%), Covelita (Trazas), Oro (Trazas), Plata Nativa (Trazas), Limonitas (2%), Gangas (79%).

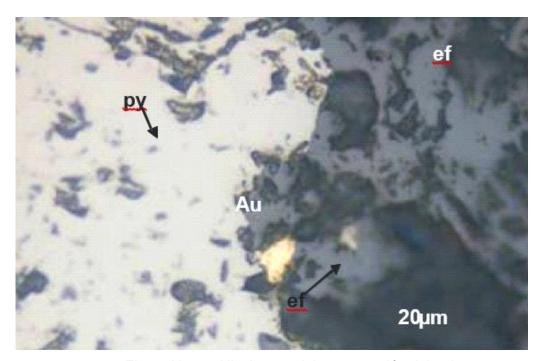


Figura N° 3.9: Nicoles paralelos en sección delgada.

Fuente: INGEMMET (2010) "Actividad minera artesanal en la cuenca del rio chillón (Minería de Yangas – canta) Región Lima".

## 3.2.4.4 Estructuras mineralizadas

En el valle del río Chillón, a lo largo de la carretera a Canta, existen estructuras con mineralización de cobre que en algunos casos cuentan con laboreo minero ya paralizado. Además, se detectó una anomalía importante ubicada al este de Santa Rosa de Quives, denominada anomalía Huar-Huar con valores anómalos de oro (Estudio de la Franja N.º 4, 2005).

# 3.2.5 Paragénesis

Cristales y agregados de pirita con formas euhedrales a subhedrales y tamaños que llegan a 0.70 mm, se hallan diseminados en intersticios de las gangas y

como inclusiones en calcopirita, cobres grises y galena los cuales la reemplazan.

Presentan porosidades rellenas por esfalerita, calcopirita, cobres grises y galena.

Ocurren cristales de arsenopirita con formas euhedrales a subhedrales y tamaños menores de 0.28 mm, diseminados, en intersticios de las gangas y como inclusiones en cobres grises y galena. Presenta porosidades rellenas por calcopirita y galena.

Se observa esfalerita (esfalerita I) en forma de estrellas como exsolución en calcopirita I. La esfalerita II se halla con exsolución de calcopirita (calcopirita II) rellenando intersticios de las gangas, porosidades y microfracturas de arsenopirita, pirita y calcopirita I. Presenta inclusiones de arsenopirita.

Ocurren dos generaciones de calcopirita:

- 1) Calcopirita I con exsolución de estrellas de esfalerita se halla diseminada, en intersticios de las gangas, rellenando porosidades de pirita y arsenopirita, así como inclusiones en galena, es reemplazada por cobres grises y galena.
- 2) calcopirita II se encuentra como exsolución en esfalerita.

Se hallan cobres grises en intersticios de las gangas. Reemplaza a calcopirita I y es reemplazada por galena.

La galena rellena intersticios de las gangas, porosidades y microfracturas de pirita y arsenopirita, reemplaza a pirita, calcopirita I y cobres grises.

Granos de oro con tamaños menores de 0.06 mm (3 granos) ocurren en porosidades y bordes de pirita, rellenando microfracturas de arsenopirita, así como intersticios de las gangas. Un grano presenta inclusiones de arsenopirita.

## Porcentaje Aproximado:

Pirita (25%), Arsenopirita (3%), Esfalerita I (Trazas), Esfalerita II (Trazas), Calcopirita I (2%), Calcopirita II (Trazas), Cobres Grises (Trazas), Galena (10%), Oro (Trazas), Gangas (60%)

## Secuencia de Formación Probable:

Pirita

Arsenopirita

Calcopirita I-Esfalerita I

Esfalerita II- Calcopirita II

Cobres Grises,

Galena,

Oro

ETAPAS DE MINERALIZACIÓN COMPOSICI MINERAL ÓN 3° 1°  $2^{\circ}$ Cuarzo SiO<sub>2</sub> Pirita FeS2 Arsenopirita **FeAsS** Calcopirita I CuFeS2 Esfalerita I ZnS Esfalerita II ZnS Cuarzo SiO2 CuFeS2 Calcopirita II **FeAsS** Arsenopirita Galena PbS Oro Au

Tabla N° 3.1: Paragénesis, etapas de mineralización.

Fuente: INGEMMET (2010) "Actividad minera artesanal en la Cuenca del Río Chillón (Minería de Yangas – canta) Región Lima".

## 3.2.6 Genesis y Modelo Geológico

La cuenca hidrográfica del río Chillón, está sustentada en los macizos rocosos Cretáceos, Terciarios y Cuaternarios del flanco occidental de la Cordillera Occidental de Los Andes Centrales del Perú. Los Andes se encuentra en proceso constante de levantamiento ligado a la deriva continental, por el cual el Continente se está desplazando hacia el Oeste, sobre el fondo del Océano Pacífico. Este proceso ha dado lugar a la formación de las intrusiones graníticas, la actividad volcánica, los fallamientos geológicos y las actividades sísmicas y tsunamis; procesos por los cuales el borde

continental Sudamericano forma parte del Círculo de Fuego del Pacífico, el más sísmico del planeta. Los procesos tectónicos y magmáticos intrusivos y volcánicos de la Cordillera Occidental, han generado la mineralización metálica con oro, plata, plomo, zinc, cobre y otros; que se encuentran distribuidos desde el litoral hasta la Cordillera La Viuda. Por estas condiciones geotectónicas y sísmicas de la Cuenca del Río Chillón, es fundamental conocer las características litoestratigráficas que constituyen el basamento de la cuenca y de los peligros riesgos y vulnerabilidad de los Asentamientos humanos y sus actividades productivas

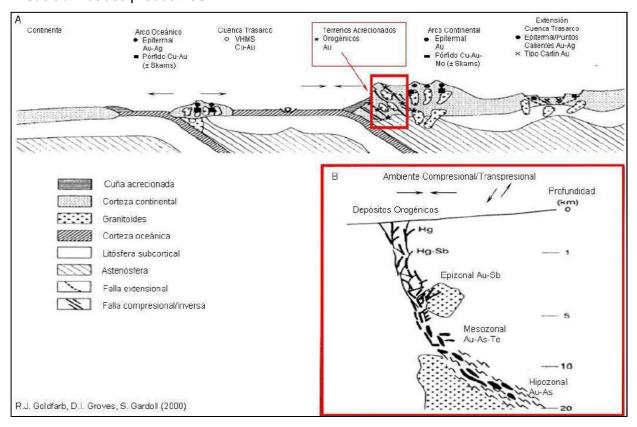


Figura 3.10 Modelo Geológico de la formación de la Cuenca Chillón.

Fuente: E. J. COBBING, W. S. PITCHER, & J. GARAYAR. (1973) - Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Servicio de Geología y Minería, Boletín, 26, 172 p.

## 3.2.7 Geología Estructural

La estructura geológica del área de estudio, está definida por los fracturamientos, fallamientos y plegamientos debido a la deriva continental de la Placa Tectónica Sudamericana sobre el fondo del Océano Pacífico Oriental.

En la Figura N° 3.9, se aprecian 4 Estructuras Mineralizadas con orientación NE – SW, de aproximadamente de 2 a 2,5 km de extensión e interespaciadas de 1 a 1.2 km, sectores donde los mineros artesanales realizan sus trabajos de extracción.

El área en sí corresponde a un depósito con contenido de oro epigenético, que se emplaza en fallas normales.

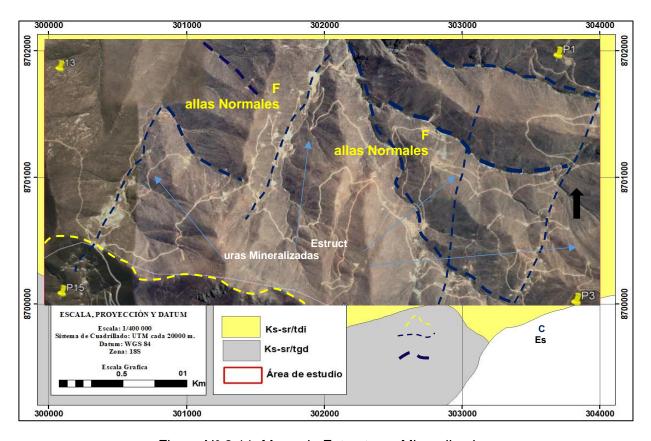


Figura N° 3.11: Mapa de Estructuras Mineralizadas.

Fuente: Geocatmin y Google Earth.

## 3.2.8 Geología Económica

La mineralización que más predomina es la polimetálica aurífera. Se extienden además manifestaciones vetiformes esporádicas de cobre de tipo mesotermal.

La mineralización en el área es principalmente en vetillas de Cuarzo con diseminado de Oro con valores altos (35 G/TM en promedio), posiblemente con grandes potenciales para ser explotados.

## 3.2.8.1 Operación Minera

#### 3.2.12.1.1 Minería Artesanal

Según el reporte de la Dirección de Catastro Minero del INGEMMET, para el distrito de Santa Rosa de Quives, provincia de Canta, el área de estudio tiene como titular al Sr. Ysiquel Orlando Bohorquez Brañez, en donde existen 71 derechos mineros titulados, 19 derechos mineros en trámite y 3 derechos mineros extinguidos, que en total son 90 derechos mineros vigentes, hasta el 19 de mayo del 2021. Asimismo, actualmente en la zona de trabajo se estima más de 2000 operaciones mineras artesanales.

La actividad minera artesanal de la zona de Canta está poco difundida en comparación a la minería que se realiza en otros puntos geográficos del país. Se caracteriza porque la mayoría de los mineros son emigrantes de la zona sur, por ello se les denomina mineros de Nazca a quienes trabajan en esta zona y se les atribuye el desarrollo de las actividades mineras en la actualidad.

La minería que se practica es de manera permanente y en la mayoría de casos en derechos mineros de terceros.

Los mineros artesanales están organizados en asociaciones tales como Asociación de Mineros Artesanales Santa Rosa Toropuquio, Asociación de Pequeños Mineros Artesanales y Contratistas Chemito del Sur - Jicamarca. Sin embargo, las gestiones realizadas para conseguir la formalización se encuentran en niveles embrionarios. Existen muy pocos grupos que tienen niveles de organización donde cada integrante tiene una función específica dentro de la organización.

Las organizaciones de mineros están agremiadas en la Federación Nacional de Mineros Artesanales del Perú. Esta viene trabajando en perspectiva de la formalización a través de sus programas de capacitación en temas relacionados directamente al proceso productivo, aspectos legales, así como en la gestión empresarial.



Vista panorámica de Mineros artesanos descansando.



Vista panorámica de Mineros artesanos en el área de estudio.



Vista panorámica de Mineros artesanos en el área de estudio.

## 3.2.12.1.2 Organización y sistemas de trabajo

Cada grupo desarrollo una forma de trabajo de acuerdo a la experiencia y los diversos aspectos económicos, técnicos e incluso sociales. Así, por ejemplo, los grupos de mineros distribuyen el trabajo de acuerdo al ciclo de minado, preparación, perforación voladura, limpieza, acarreo y si fuera el caso otro grupo se encarga del procesamiento. Los trabajos de mantenimiento y cuidado de las labores subterráneas incluidos los servicios de ventilación, así como las labores superficiales no tienen la misma prioridad. A pesar de la cuantificación de las actividades de manera empírica, no se tienen registros de estándar alguno, sin embargo, se afirmar que todos trabajan con estándares prácticos que darán a conocer el rendimiento casi asociado a 1 TM/hombre turno. La operación propiamente dicha se realiza de forma individual o en pequeños grupos integrados entre 5 a 10 personas que generalmente son socios.

La distancia entre la zona de explotación minera y las viviendas determina el horario de trabajo, que generalmente se realiza en jornadas diarias de 10 a 12 horas, en campañas que dura hasta 15 días. En este último caso los trabadores pernoctan en la mina, provistos de alimentos y herramientas para estos intervalos de tiempo.

El abandono de las labores mineras en operación ocurre, cuando se agotan las reservas minerales o una vez que pierden la capacidad de ventilación por profundización de la labor, dando oportunidad a la búsqueda de nuevos sectores con mineral de interés económico.



Zona de Lajas: Plataforma donde se almacena el mineral, para ser transportado en camiones hacia las plantas concentradoras de Ica y Arequipa.

## 3.2.12.1.3 Operaciones Mineras Artesanales

La prospección artesanal de los yacimientos de vetas de oro, caracterizados por numerosas vetillas que guardar relación entre sí, y cuyos afloramientos, de espesor predominantemente delgados (a veces 3 cm) se realiza mediante la detección visual de estas venillas, exposición de la misma ha poca profundidad y determinación inmediata, in situ, de su contenido de oro. Ello permite discriminar de inmediato las numerosas venillas de cuarzo estéril que también afloran en la zona, y continuar la exploración en la dirección de las mejores leyes.

La exploración artesanal es realizada entre 200 y 300 personas, cada una cubriendo un área diferente, lo que resulta en una alta probabilidad de éxito en la exploración con un costo mínimo de inversión. Para tal fin llevan consigo víveres para un tiempo aproximado de 7 días, comba y punta para el cateo y la batea o puruña con dos litros de agua para

el análisis del mineral de las vetas que exploran. Cuando la exploración es un éxito, la explotación artesanal se inicia de inmediato.

Las operaciones que desarrollan los mineros artesanales están definidas en función a la forma de explotación. En la zona de estudio, los operadores mineros trabajan yacimientos de oro primero de manera superficial siguiendo los afloramientos de las vetas detectadas, luego se continúa con el desarrollo de labores horizontales sobre veta que pueden llegar alcanzar de 1.5 a 2 m de longitud y labores verticales, inclinadas o de tajeo, que profundizan sobre veta a más de 80 m.

No se conoce de la explotación anterior en esta zona, por lo que se presume que estos yacimientos fueron descubiertos por los actuales poseedores de las vetas.

Luego de concluir con los trabajos de cateo e identificado del yacimiento, pero sin más caracterización que determinar la geometría y que por lo general son vetas de espesor reducido y alta ley (las vetas generalmente tienen de 1 y 10 cm, y leyes que varían de 0,5 a 3 oz/MT de oro), se determina el método de explotación. Sin embargo, debido a la falta de recursos económicos y conocimientos técnicos, los mineros artesanales desarrollan las labores de explotación utilizando herramientas básicas e intensa mano de obra.

El minero artesanal de la zona de estudio extrae el mineral por el método del minado selectivo, que consiste en la extracción de la roca caja piso, con perforación y voladura, si fuera el caso, para posteriormente solo beneficiar la veta.

El avance en el interior de la mina se desarrolla siguiendo la estructura mineralizada, por lo que el material de desmonte generalmente es dispuesto en los exteriores de la labor, sin embargo, en algunos casos es usado como relleno de los tajos vacíos para afianzar el sostenimiento de alguna zona de trabajo.

En la siguiente Foto se observa a Mineros artesanos, en la plataforma de almacenamiento, donde se acumula el mineral extraído de las labores subterráneas de la mina, para su selección y comercialización como mineral de alta ley.



Mineros artesanos en su plataforma de Almacenamiento.

#### 3.2.12.1.4 El Ciclo del Minado

Consiste en las siguientes operaciones unitarias:

- Perforación y voladura
- Ventilación
- Carguío y transporte
- Sostenimiento

## 3.2.12.1.5 Tratamiento Metalúrgico del Oro

#### Chancado

El tratamiento del mineral empieza con el pallaqueo, que consiste en seleccionar manualmente el material con mayor ley antes del procesamiento o comercialización, aumentando las ganancias por la calidad del material y la reducción en el costo de transporte y procesamiento.

El chancado del mineral es el proceso de reducción de tamaño de mineral, para ello usan chancadoras mecánicas en algunos sitios, pero la práctica generalizada es que los mismos mineros lo realicen manualmente con una comba.

La reducción del tamaño de mineral se realiza hasta 1/2 pulgada.



Chancado Manual del Mineral. Generalmente se hace con combas de 4 a 8 libras.

# Molienda y Amalgamación

La amalgamación es el proceso de recuperación que emplea el minero artesanal para la recuperación de los metales preciosos. El oro, la plata y algunas de sus combinaciones tienen la propiedad de juntarse con el mercurio. Estas aleaciones se llaman amalgamas. La amalgamación se realiza en bateas, quimbaletes, toneles, tambores de amalgamación, trapiches, etc.

#### **CAPITULO IV**

## **INVESTIGACIONES**

# 4.1 Investigaciones de Campo

## 4.1.1 Muestreo de Sedimentos de Suelos

Se tomó muestras de sedimentos de suelos de tipo coluvial en su mayoría y otras tomadas en la cumbre misma, para su posterior análisis geoquímico, en el mes de mayo del 2021, cuyos datos y resultados obtenidos, se presenta en la tabla N° 4.2.

Las tomadas en la cumbre misma (P-9, P-13, P-14, P-15), que son muestras in situ influenciadas por contaminantes que son transportados por acción eólica, nos dan referencia de la acumulación de estos contaminantes en el área de estudio.

Los del tipo Coluvial (P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7, P-8, P-10, P-11, P-12), nos dan referencia de la acumulación de estos contaminantes en la parte baja de su deposición.



Figura N° 4.1: Malla de Muestreo.

Fuente: Muestreo, Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación. Plano de fondo, Mapa Satelital Google Earth.



P-1: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 304000 - N 8702000

Descripción de Muestra: Muestra oxidada y sulfurada donde se observaron pequeños fragmentos de galena, y Cuarzo crema.

Figura N° 4.2: Punto de Muestreo P-1.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-2: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 304000 - N 8701000

Descripción de Muestra: Muestra oxidada donde se observaron pequeños fragmentos de Cuarzo crema, hematita, goetita, limonita y pequeños fragmentos de sulfuros (galena)

Figura N° 4.3: Punto de Muestreo P-2.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



P-3: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 304000 - N 8700000

Descripción de Muestra: Muestra oxidada donde se observan, hematita, goetita, limonita y pequeños fragmentos de sulfuros (Esfalerita, Galena)

Figura N° 4.4: Punto de Muestreo P-3.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-4: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 303000 - N 8702000

Descripción de Muestra: Muestra oxidada donde se observan, hematita, goetita, limonita y pequeños fragmentos de sulfuros (Arsénico, Galena)

Figura N° 4.5: Punto de Muestreo P-4.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



P-5: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 303000 - N 8701000

Descripción de Muestra: Muestra con pequeños fragmentos de hematita, goetita y limonita

Figura N° 4.6: Punto de Muestreo P-5.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-6: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 303000 - N 8700000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita y limonita

Figura N° 4.7: Punto de Muestreo P-6.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



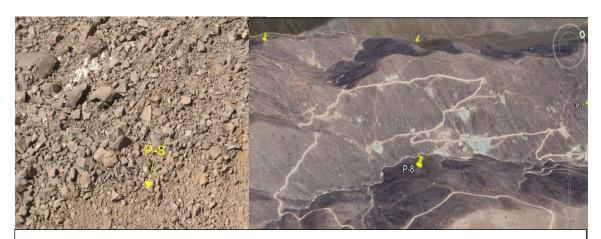
P-7: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 302000 - N 8702000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita y limonita y con presencia de sulfuros (galena, Arsenopirita)

Figura N° 4.8: Punto de Muestreo P-7.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-8: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 302000 - N 8701000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita y limonita

Figura N° 4.9: Punto de Muestreo P-8.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-9: Muestra tomada en la cumbre misma, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 302000 - N 8700000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita y limonita y con presencia de Calcopirita y Pirita en mínimas cantidades.

Figura N° 4.10: Punto de Muestreo P-9.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.

(2021), para presente investigación.



P-10: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 301000 - N 8702000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita y limonita y con presencia de Calcopirita y Pirita en mínimas cantidades.

Figura N° 4.11: Punto de Muestreo P-10.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



P-11: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 301000 - N 8701000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita, limonita,

Pirita, Arsenopirita y esfalerita

Figura N° 4.12: Punto de Muestreo P-11.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.

(2021), para presente investigación.



P-12: Muestra de tipo Coluvial, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 301000 - N 8700000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita, limonita.

Figura N° 4.13: Punto de Muestreo P-12.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



P-13: Muestra tomada en la cumbre misma, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 300000 - N 8702000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita, limonita y Calcopirita.

Figura N° 4.14: Punto de Muestreo P-13.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.



P-14: Muestra tomada en la cumbre misma, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 300000 - N 8701000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita, limonita, Calcopirita y esfalerita.

Figura N° 4.15: Punto de Muestreo P-14.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth.



P-15: Muestra tomada en la cumbre misma, tomada cerca a labores artesanales

Coordenadas UTM: E 300000 - N 8700000

Descripción de Muestra: Muestra con mínimas cantidades de hematita, goetita, limonita,

Figura N° 4.16: Punto de Muestreo P-15.

Fuente: Henostroza Romero Henrry - Mapa Satelital Google Earth. (2021), para presente investigación.

Para el estudio de valores de metales pesados, se tomaron quince (15) muestras de sedimentos correspondientes al mismo número de estaciones de muestreo.

Las coordenadas de ubicación de cada muestra, se presentan en la tabla N° 4.1.

Tabla N° 4.1: Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo para sedimentos de suelo.

	COORDENADAS UTM								
MUESTRA (N°)	ESTE (E)	NORTE (N)							
P-1	304000	8702000							
P-2	304000	8701000							
P-3	304000	8700000							
P-4	303000	8702000							
P-5	303000	8701000							
P-6	303000	8700000							
P-7	302000	8702000							
P-8	302000	8701000							
P-9	302000	8700000							
P-10	301000	8702000							
P-11	301000	8701000							
P-12	301000	8700000							
P-13	300000	8702000							
P-14	300000	8701000							
P-15	300000	8700000							

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

# 4.2 Investigaciones de laboratorio

## 4.2.1 Análisis Geoquímico

Estos análisis, se realizaron en el laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C, asegurando así la confiabilidad y certificación (Anexo N°3)

Tabla N° 4.2: Resultado de los valores geoquímicos obtenidos para 15 Muestras.

	VALORES DE METALES PESADOS (mg/Kg)									
MUESTRA (N°)	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Hg			
P-1	35.11	1.21	13.33	20.21	131.1	115.3	0.01			
P-2	3.19	0.8	2.19	14.25	7.83	110.21	0.69			
P-3	3.21	3.61	21.33	37.69	14.09	131.33	0.01			
P-4	24.13	2.31	2.13	20.3	9.31	90.2	0.3			
P-5	11.13	0.91	7.25	25.1	7.61	31.4	0.02			
P-6	13.21	3.21	21.37	19.2	7.33	112.2	0.01			
P-7	3.21	1.2	3.2	32.14	121.3	180.21	0.71			
P-8	2.31	1.19	15.61	31.25	27.13	89.31	0.01			
P-9	1.11	2.15	1.21	204	14.11	92.27	0.01			
P-10	3.42	0.89	37.9	26.13	16.15	99.13	0.18			
P-11	18.12	3.7	22.5	38.4	37.9	126.1	0.17			
P-12	7.2	0.4	37.4	12.11	21.7	13.2	0.01			
P-13	4.21	0.31	12.4	80.1	4.12	91.4	0.01			
P-14	2.13	2.3	11.3	13.1	16.31	86.1	0.01			
P-15	1.11	3.2	0.1	25.3	41.3	54.13	0.01			

Fuente: SGS del Perú S.A.C (mayo, 2021), de muestras tomadas por Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

## **4.2.2 Metales Totales**

Las concentraciones de Metales totales en sedimento para las estaciones evaluadas, se presentan en la tabla 4.3. Los reportes de laboratorio se adjuntan en el Anexo N° 3.

Tabla N° 4.3: Resultado de Análisis Químico de Metales totales.

COOF	RDENADAS	UTM	ANÁLISIS DE METALES PESADOS (mg/Kg)								
MUESTRA (N°)	ESTE (E)	NORTE (N)	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Hg		
P-1	304000	8702000	35.11	1.21	13.33	20.21	131.1	115.3	0.01		
P-2	304000	8701000	3.19	8.0	2.19	14.25	7.83	110.21	0.69		
P-3	304000	8700000	3.21	3.61	21.33	37.69	14.09	131.33	0.01		
P-4	303000	8702000	24.13	2.31	2.13	20.3	9.31	90.2	0.3		
P-5	303000	8701000	11.13	0.91	7.25	25.1	7.61	31.4	0.02		
P-6	303000	8700000	13.21	3.21	21.37	19.2	7.33	112.2	0.01		
P- <b>7</b>	302000	8702000	3.21	1.2	3.2	32.14	121.3	180.21	0.71		
P-8	302000	8701000	2.31	1.19	15.61	31.25	27.13	89.31	0.01		
P-9	302000	8700000	1.11	2.15	1.21	204	14.11	92.27	0.01		
P-10	301000	8702000	3.42	0.89	37.9	26.13	16.15	99.13	0.18		
P-11	301000	8701000	18.12	3.7	22.5	38.4	37.9	126.1	0.17		
P-12	301000	8700000	7.2	0.4	37.4	12.11	21.7	13.2	0.01		
P-13	300000	8702000	4.21	0.31	12.4	80.1	4.12	91.4	0.01		
P-14	300000	8701000	2.13	2.3	11.3	13.1	16.31	86.1	0.01		
P-15	300000	8700000	1.11	3.2	0.1	25.3	41.3	54.13	0.01		

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

Tabla N° 4.4: Tabla comparativa entre los resultados de metales pesados y el CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines).

E. de Muestreo	CE ISQG	QG PEL	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15
Unidades									mg/K	9							
Arsénico	5.9	17	35.11	3.19	3.21	24.13	11.13	13.21	3.21	2.31	1.11	3.42	18.12	7.2	4.21	2.13	1.11
Cadmio	0.6	3.5	1.21	0.8	3.61	2.31	0.91	3.21	1.2	1.19	2.15	0.89	3.7	0.4	0.31	2.3	3.2
Cromo	37.3	90	13.33	2.19	21.33	2.13	7.25	21.37	3.2	15.61	1.21	37.9	22.5	37.4	12.4	11.3	0.1
Cobre	35.7	197	20.21	14.25	37.69	20.3	25.1	19.2	32.14	31.25	204	26.13	38.4	12.11	80.1	13.1	25.3
Mercurio	0.17	0.486	0.01	0.69	0.01	0.3	0.02	0.01	0.71	0.01	0.01	0.18	0.17	0.01	0.01	0.01	0.01
Plomo	35	91.3	131.1	7.83	14.09	9.31	7.61	7.33	121.3	27.13	14.11	16.15	37.9	21.7	412	16.31	41.3
Zinc	123	315	115.3	110.2	131.3	90.2	31.4	112.2	180.21	89.31	92.27	99.13	126.1	13.2	91.4	86.1	54.13

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

## 4.3 Procedimiento en el Procesamiento de la Información

Para la obtención de las curvas de isovalores, se siguió el siguiente procedimiento:

Con los valores obtenidos según el diagrama de caja y bigotes se separaron valores geoquímicos anómalos utilizando el color rojo, y con el uso del software ArcGIS, mediante la técnica de kriging se obtuvo mapas de anomalías geoquímicas, en el cual el color rojo indica los valores más altos y el verde los más bajos.

## 4.3.1 Obtención de los Diagramas de Caja y Bigote

Para la obtención de los Diagramas de Caja y Bigote, se siguió el siguiente procedimiento

Utilizamos 20 datos de una población X.

P1, p4, p8, p2, p6, p9, p3, p15, p17, p20, p19, p12, p5, p7, p10, p13, p18, p16, p11, p14

## **Ordenar los datos**

Para calcular los parámetros estadísticos, lo primero es ordenar la distribución de menor a mayor.

P1 < p2 < p3 < p4 < p5 < p6 < p7 < p8 < p9 < p10 < p11 < p12 < p13 < p14 < p15 < p16 < p17 < p18 < p19 < p20.

- P1 mínimo
- P20 Máximo

## Cálculo de Cuartiles

Q1, el cuartil Primero es el valor mayor que el 25% de los valores de la distribución. Como N = 20 resulta que N/4 = 5; el primer cuartil es la media aritmética de dicho valor y el siguiente:

$$Q1 = (p5 + p6) / 2 = Q1'....(1)$$

Q2, el Segundo Cuartil es, evidentemente, la mediana de la distribución, es el valor de la variable que ocupa el lugar central en un conjunto de datos ordenados. Como N/2 =10; la mediana es la media aritmética de dicho valor y el siguiente:

$$Me= Q2 = (p10 + p11) / 2 = Me'.....(2)$$

Q3, el Tercer Cuartil, es el valor que sobrepasa al 75% de los valores de la distribución. En nuestro caso, como 3N / 4 = 15, resulta

$$Q3 = (p15 + p16) / 2 = Q3'....(3)$$

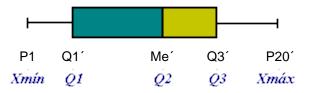


Figura N° 4.17: Esquema lineal de la Distribución de Parámetros Estadísticos.

Fuente: Estimación de Recursos Mineros por. Marco Antonio Alfaro Sironvalle (2007).

## 4.3.2 Separación de valores anómalos

Para la separación de valores anómalos, se siguió el siguiente procedimiento:

Según el CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines), Valor guía interino de la calidad de sedimento (Tabla N° 5.1), se muestra el rango de estas concentraciones para cada elemento metálico analizado. Dentro de este rango, no se presentan efectos biológicos adversos y está representado por el color Amarillo

PEL (Probable Effect Level), Nivel de efecto probable, en las Concentraciones mayores al PEL encontramos con frecuencia efectos biológicos adversos y lo representamos con el color rojo.

Según el CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines), Valor guía interino de la calidad de sedimento (Tabla N° 5.1), se muestra el rango de estas concentraciones para cada elemento metálico analizado. Concentraciones menores a este rango, no presentan efectos biológicos adversos y está representado por el color Blanco.

En la tabla N° 4.5 se observa que las concentraciones están representadas por tres colores, donde el rojo indica concentraciones con valores anómalos, el amarillo

concentraciones que están dentro del rango (no tiene efectos biológicos adversos) y el blanco concentraciones que están por debajo del ISQG y por ende no tiene efectos biológicos adversos.

Tabla N° 4.5: Procesamiento de Metales Pesados

E. de Muestreo	CE ISQG	QG PEL	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15
Unidades									mg/K	g							
Arsénico	5.9	17	35.11	3.19	3.21	24.13	11.13	13.21	3.21	2.31	1.11	3.42	18.12	7.2	4.21	2.13	1.11
Cadmio	0.6	3.5	1.21	0.8	3.61	2.31	0.91	3.21	1.2	1.19	2.15	0.89	3.7	0.4	0.31	2.3	3.2
Cromo	37.3	90	13.33	2.19	21.33	2.13	7.25	21.37	3.2	15.61	1.21	37.9	22.5	37.4	12.4	11.3	0.1
Cobre	35.7	197	20.21	14.25	37.69	20.3	25.1	19.2	32.14	31.25	204	26.13	38.4	12.11	80.1	13.1	25.3
Mercurio	0.17	0.486	0.01	0.69	0.01	0.3	0.02	0.01	0.71	0.01	0.01	0.18	0.17	0.01	0.01	0.01	0.01
Plomo	35	91.3	131.1	7.83	14.09	9.31	7.61	7.33	121.3	27.13	14.11	16.15	37.9	21.7	412	16.31	41.3
Zinc	123	315	115.3	110.2	131.3	90.2	31.4	112.2	180.21	89.31	92.27	99.13	126.1	13.2	91.4	86.1	54.13

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

# 4.3.3 Procedimiento para obtener Mapas de Isovalores en ArcGIS.

Procedimiento para realizar isolíneas (isoyetas, isotermas, isobaras) en ArcGIS, en base a las estaciones de muestreo. Para crear una isolínea es necesario contar con una capa de puntos de las estaciones de muestreo (mínimo tres) georreferenciada y con su respectiva proyección definida.

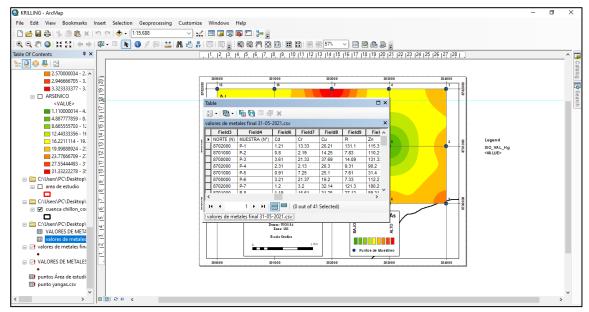


Figura N° 4.18: Tabla de atributos en ArcGIS.

Fuente: ArcGIS 10.3.

En caso de contar con la información de las estaciones de Muestreo dentro de una tabla de Excel, se puede agregar dentro de ArcMap dichos datos con la herramienta Add XY Data, seguidamente exportar la tabla como shapefile (Clic derecho sobre la capa > Data > Export Data).

Para realizar este procedimiento es necesario contar con la extensión Spatial Analyst, dirigirse a la caja de herramientas ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation.

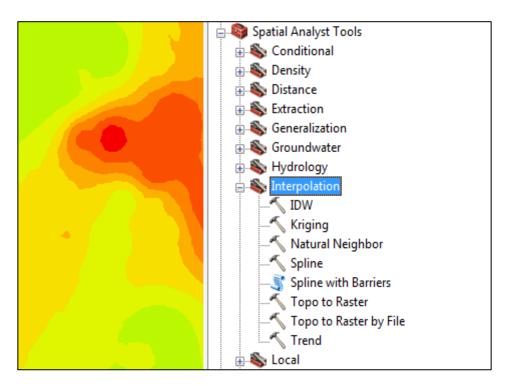


Figura N° 4.19: Interpolación de datos.

Fuente: ArcGIS 10.3.

En esta dirección contamos con un conjunto de herramientas de interpolación, de acuerdo al Centro de Recursos de ArcGIS las conceptualiza de la siguiente manera:

Kriging, es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z, usar la herramienta Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida (muy empleada en suelos y geología).

En la Figura 4.20 se muestra la asociación de un punto (en color rojo) con todas las demás ubicaciones medidas. Este proceso continúa con cada punto medido.

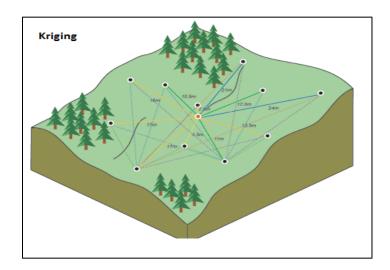


Figura N° 4.20: Calculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas.

Fuente: Burrough, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. New York: Oxford University Press. 1987.

Una vez definido el método de interpolación para nuestro caso el Kriging, abrir la herramienta Kriging

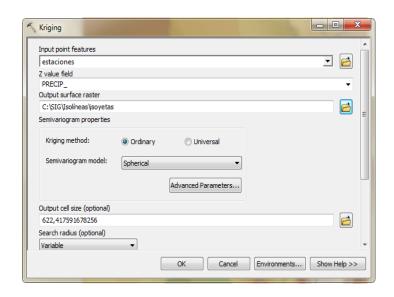


Figura N° 4.21: Interpolación mediante el Kriging.

Fuente: ArcGIS 10.3.

En Input point features seleccionar la capa de puntos (estaciones de Muestreo), en Z value field el campo de la tabla que contiene los datos de las isolíneas, en Output surface raster selecionar el directorio, también se puede personalizar las propiedades del raster.

Como paso final se procede a crear las isolíneas, para ello vamos a utilizar la herramienta Contornos (la misma que se utiliza para crear curvas de nivel) que se encuentra en la caja de herramientas ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Contour, al ejecutarla en el cuadro de diálogo rellenamos los datos, Input raster el raster creado anteriormente (Kriging), Output polilyne features definir el directorio para salvar el shapefile y Contour interval permite fijar un intervalo de las isolíneas, esto depende de la superficie, varianza y parámetros bajo un criterio técnico.

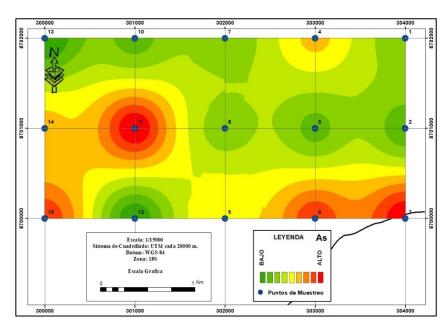


Figura N° 4.22: Mapa de Isovalores Final.

Fuente: ArcGIS 10.3.

# 4.4 Mapas de Isovalores y Diagrama de Caja y Bigotes de los Elementos de Metales Pesados

## 4.4.1 Mapa de Isovalores del Elemento Arsénico

La mayor concentración se presenta al NE del área muestreada y decrece hacia el W, S y N.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	ense (CEQG)
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)
Arsénico	5.9	17

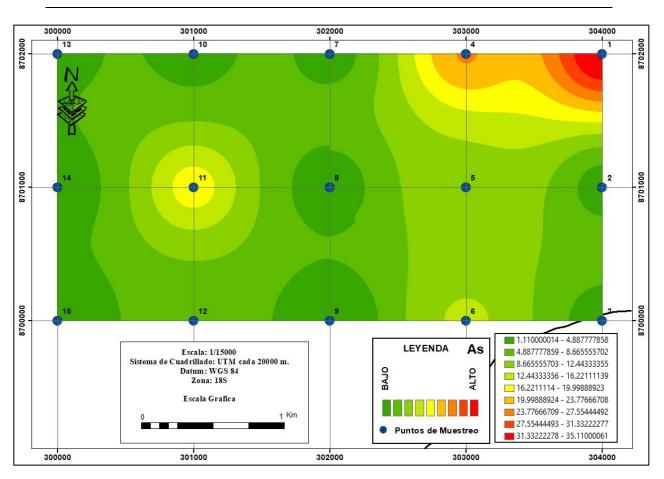


Figura N° 4.23: Mapa de interpolación del elemento As, puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

# 4.4.2 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Arsénico

El 20% de los datos sobrepasan los límites permisibles, el otro 20% están entre el ISQG y el PEL y el 60% restante es menor al ISQG.

Parámetros	Valores
Estadísticos	(As)
Menor	1.11
Cuartil (Q1)	2.31
Mediana	3.42
Cuartil (Q2)	13.21
Mayor	35.11

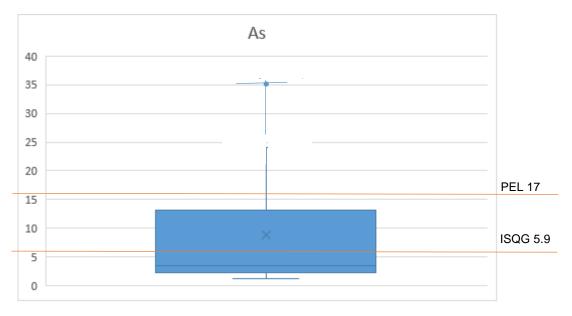


Figura N° 4.24: Diagrama de caja y bigote del elemento As.

### 4.4.3 Mapa de Isovalores del Elemento Cadmio

La mayor concentración se presenta al SE y W del área muestreada y decrece hacia el E y N.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Cadmio	0.6	3.5	

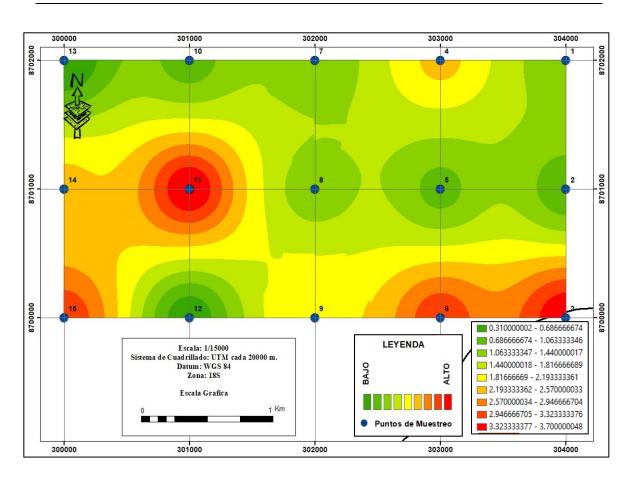


Figura N° 4.25: Mapa de interpolación del elemento Cd. Los puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

### 4.4.4 Diagrama de caja y Bigote del elemento Cadmio

El 13.33% de los datos sobrepasan los límites permisibles, el 73.33% están entre el ISQG y el PEL y el 13.33% restante es menor al ISQG.

Valores
(Cd)
0.31
0.89
1.21
3.2
3.7

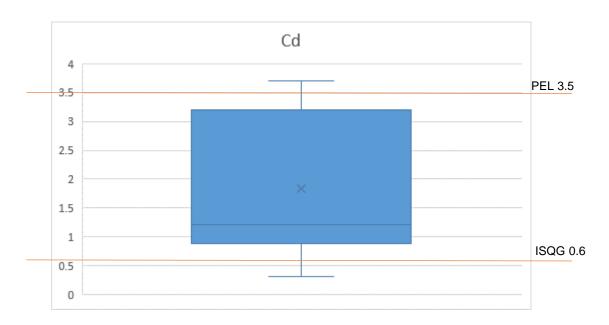


Figura N° 4.26: Diagrama de caja y bigote del elemento Cd.

### 4.4.5 Mapa de Isovalores del Elemento Cromo

La mayor concentración se presenta al N y S del sector W del área muestreada y decrece hacia el E.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Cromo	37.3	90	

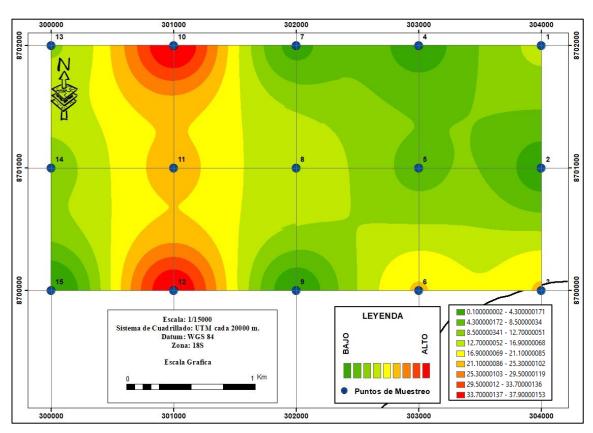


Figura N° 4.27: Mapa de interpolación del elemento Cr. Los puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

# 4.4.6 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Cromo

Ninguna de los valores sobrepasa los límites permisibles, el 13.33% están entre el ISQG y el PEL y el 86.67% restante es menor al ISQG.

Parámetros	Valores	
Estadísticos	(Cr)	
Menor	0.1	
Cuartil (Q1)	2.19	
Mediana	12.4	
Cuartil (Q2)	21.37	
Mayor	37.9	

PEL 90

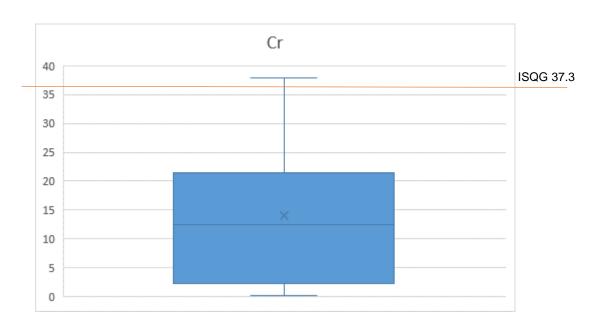


Figura N° 4.28: diagrama de caja y bigote del elemento Cr.

### 4.4.7 Mapa de Isovalores del Elemento Cobre

La mayor concentración se presenta al S y decrece hacia los extremos E, N y W

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Cobre	35.7	197	

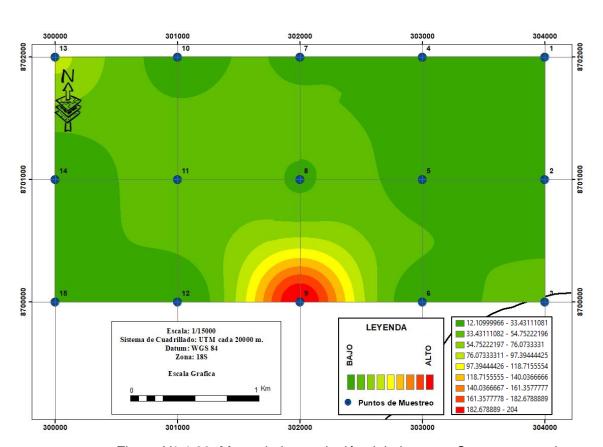


Figura N° 4.29: Mapa de interpolación del elemento Cu, puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

# 4.4.8 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Cobre

El 6.7% de los datos sobrepasan los límites permisibles, el 20% están entre el ISQG y el PEL y el 73.33% restante es menor al ISQG.

Parámetros Estadísticos	Valores (Cu)
Menor	12.11
Cuartil (Q1)	19.2
Mediana	25.1
Cuartil (Q2)	32.14
Mayor	80.1

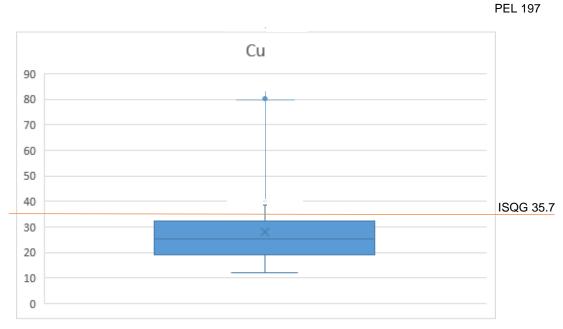


Figura N° 4.30: diagrama de caja y bigote del elemento Cu.

### 4.4.9 Mapa de Isovalores del Elemento Mercurio

La mayor concentración se presenta al E y N del área de estudio y decrece hacia el W y S.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Mercurio	0.17	0.486	

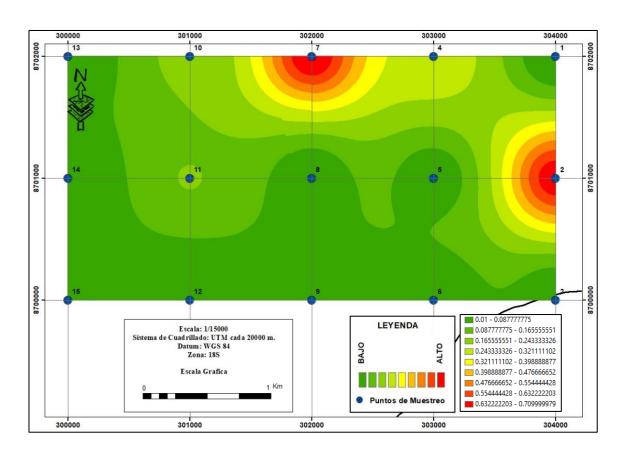


Figura N° 4.31: Mapa de interpolación del elemento Hg, puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

### 4.4.10 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Mercurio

El 13.3% de los datos sobrepasan los límites permisibles, el 20% están entre el ISQG y el PEL y el 66.7% restante es menor al ISQG.

Parámetros Estadísticos	Valores (Hg)
Menor	0.01
Cuartil (Q1)	0.01
Mediana	0.01
Cuartil (Q2)	0.12
Mayor	0.3

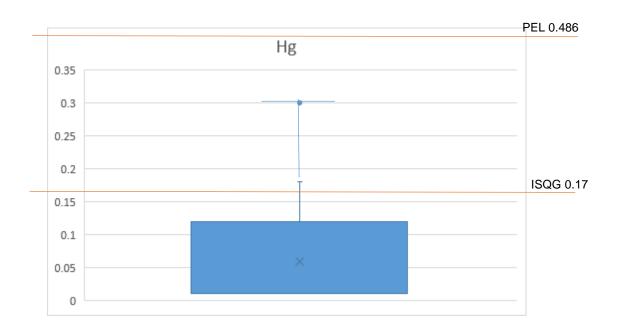


Figura N° 4.32: diagrama de caja y bigote del elemento Hg.

### 4.4.11 Mapa de Isovalores del Elemento Plomo

La mayor concentración se presenta al NE y N del área de estudio y decrece hacia el W, S y SE.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Plomo	35	91.3	

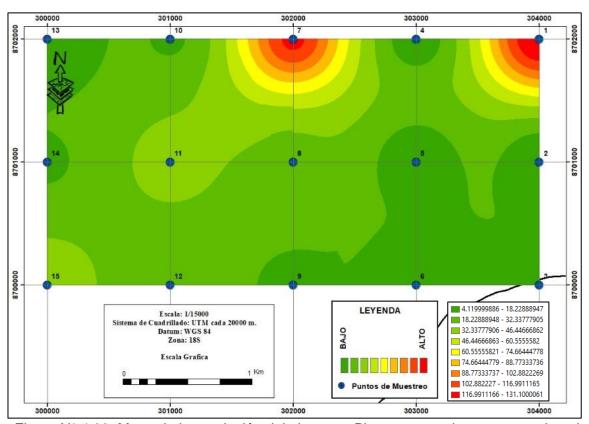


Figura N° 4.33: Mapa de interpolación del elemento Pb, puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

### 4.4.12 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Plomo

El 13.33% de los datos sobrepasan los límites permisibles, el 13.33% están entre el ISQG y el PEL y el 73.33% restante es menor al ISQG.

Parámetros	Valores	
Estadísticos	(Pb)	
Menor	4.12	
Cuartil (Q1)	7.83	
Mediana	14.11	
Cuartil (Q2)	23.51	
Mayor	41.3	

PEL 91.3

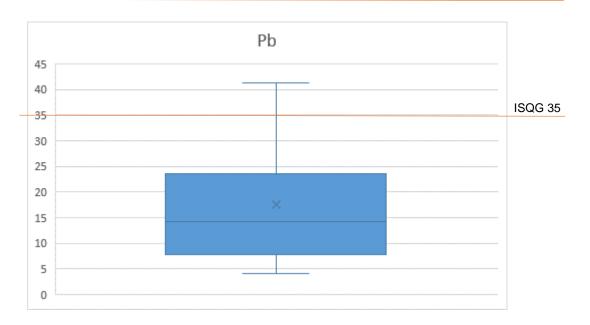


Figura N° 4.34: diagrama de caja y bigote del elemento Pb.

### 4.4.13 Mapa de Isovalores del Elemento Zinc

La mayor concentración se presenta al N del área de estudio y decrece hacia el SW, SE y S.

Parámetro	Parámetro Norma Canadie	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)	
Zinc	123	315	

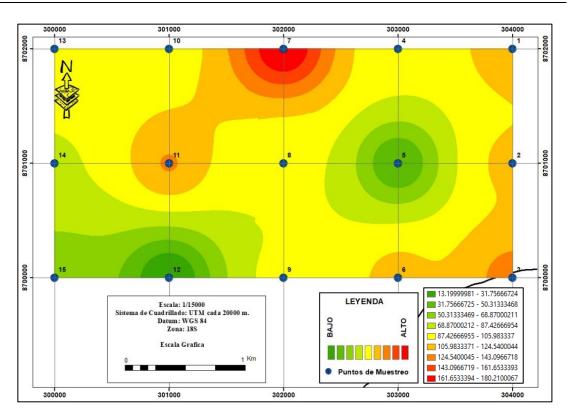


Figura N° 4.35: Mapa de interpolación del elemento Zn, puntos azules corresponden al conjunto de muestras analizadas.

### 4.4.14 Diagrama de Caja y Bigote del Elemento Zinc

Ninguno de los datos sobrepasa los límites permisibles, el 20% están entre el ISQG y el PEL y el 80% restante es menor al ISQG.

Parámetros	Valores		
Estadísticos	(Zn)		
Menor	13.2		
Cuartil (Q1)	86.1		
Mediana	92.27		
Cuartil (Q2)	115.3		
Mayor	180.21		

PEL 315

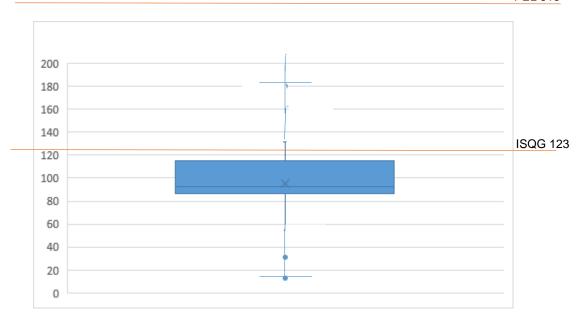


Figura N° 4.36: diagrama de caja y bigote del elemento Zn.

### 4.5 Histograma de los Elementos de Metales Pesados

#### 4.5.1 Arsénico

Las concentraciones de Arsénico en el sedimento varia de 1.11 mg/Kg (estación P-1 y P- 15) a 35.11 mg/Kg (estación P-1).

Las concentraciones de Arsénico en las estaciones P-5, P-6, P-12 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Las concentraciones de Arsénico en las estaciones P-1, P-4, P-11 fueron superiores al PEL Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.37).

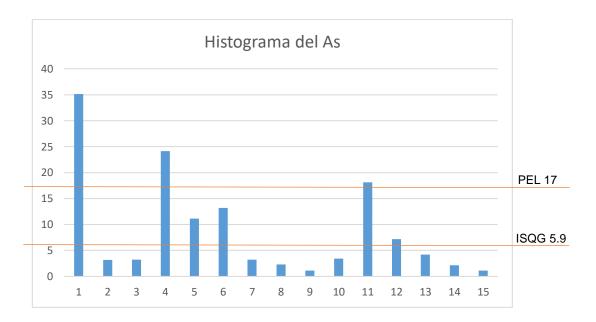


Figura N° 4.37: Histograma de la concentración del Arsénico (mg/Kg). Fuente: Henostroza Romero Henrry (2021), para presente investigación.

#### 4.5.2 Cadmio

Las concentraciones de Cadmio en el sedimento varia de 0.31 mg/Kg (estación P-13) a 3.7 mg/Kg (estación P-11).

Las concentraciones de Cadmio en las estaciones P-1, P-2, P-4, P-5, P-7, P-8, P-9, P-10, P-14, P-15 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Las concentraciones de Cadmio en las estaciones P-3 P-11 fueron superiores al PEL Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.38).

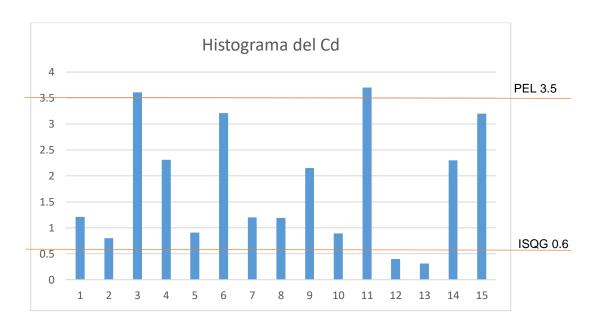


Figura N° 4.38: Histograma de la concentración del Cadmio (mg/Kg).

#### 4.5.3 Cromo

Las concentraciones de Cromo en el sedimento varia de 0.1 mg/Kg (estación P-15) a 3.9 mg/Kg (estación P-10).

Las concentraciones de Cromo en las estaciones P-10 y P-12 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.39).



Figura N° 4.39: Histograma de la concentración del Cromo (mg/Kg).

#### 4.5.4 Cobre

Las concentraciones de Cobre en el sedimento varia de 12.11 mg/Kg (estación P-12) a 204 mg/Kg (estación P-09).

Las concentraciones de Cobre en las estaciones P-3, P-11, P-13 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

La concentración del Cobre en la estación P-9 es mayor al PEL.

Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.40).

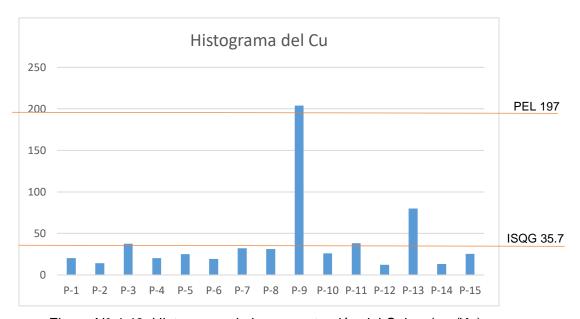


Figura N° 4.40: Histograma de la concentración del Cobre (mg/Kg).

#### 4.5.5 Mercurio

Las concentraciones de Mercurio en el sedimento varia de 0.01 mg/Kg a 0.71 mg/Kg.

Las concentraciones de Mercurio en las estaciones P-4, P-10 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Las concentraciones de Mercurio en las estaciones P-11 es igual a ISQG

Las concentraciones de Mercurio en las estaciones P-2 y P-7 son mayores al PEL

Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.41).

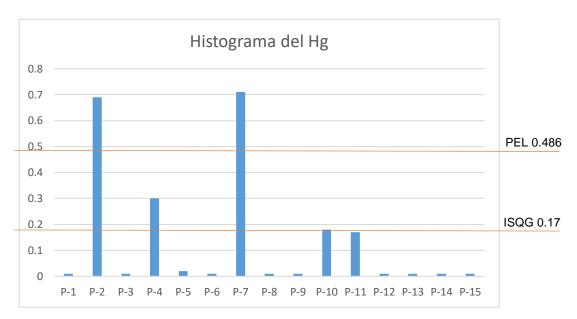


Figura N° 4.41: Histograma de la concentración del Mercurio (mg/Kg).

#### 4.5.6 Plomo

Las concentraciones de Plomo en el sedimento varia de 4.12 mg/Kg (estación P-13) a 131.1 mg/Kg (estación P-1).

Las concentraciones del Plomo en las estaciones P-11, P-15 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Las concentraciones del Plomo en las estaciones P-1, P-7 fueron mayores al PEL.

Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.42).

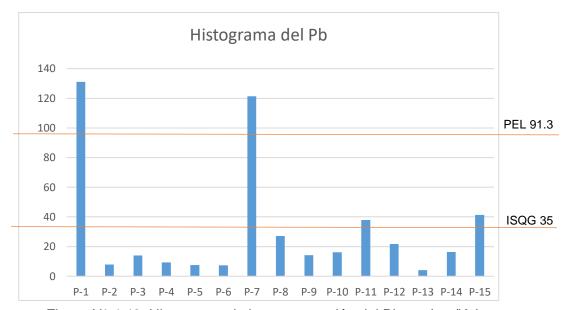


Figura N° 4.42: Histograma de la concentración del Plomo (mg/Kg).

#### 4.5.7 Zinc

Las concentraciones de Zinc en el sedimento varia de 13.2 mg/Kg (estación P-12) a 180.21 mg/Kg (estación P-07).

Las concentraciones de Zinc en las estaciones P-3, P-7, P-11 fueron mayores al ISQG, pero menores al PEL.

Mientras que en las demás estaciones fueron menores al ISQG, como se muestra en la (Figura N° 4.43).

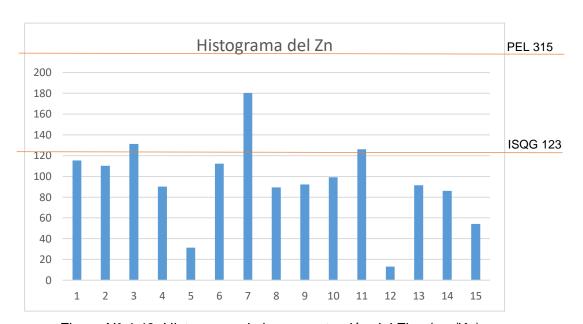


Figura N° 4.43: Histograma de la concentración del Zinc (mg/Kg).

#### **CAPITULO V**

### ANALISIS, DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados del análisis geoquímico de metales pesados, se obtuvo las anomalías geoquímicas mostradas como mapas de isovalores, luego comparando estos resultados con los parámetros de las Directrices Canadienses de Calidad Ambiental (Canadian Council of Ministers of the Environment CEQG, 2002. Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática), se interpretó y analizo los resultados.

Hasta el momento en el Perú, no existe legislación nacional sobre estándares de calidad ambiental para sedimentos. Por ello, los resultados de los parámetros evaluados se compararán, de manera referencial, con aquellos recomendados por las Directrices de Calidad Ambiental de Canadá para Sedimentos en cuerpos de agua dulce.

Los metales pesados analizados son: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio y Zinc, cuyos valores referenciales del ISQG y PEL son consignados en la tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1: Parámetros Norma Canadiense.

Parámetro	Parámetro Norma Canadiense (CEQG)				
	ISQG (mg/kg)	PEL (mg/kg)			
Arsénico	5.9	17			
Cadmio	0.6	3.5			
Cromo	37.3	90			
Cobre	35.7	197			
Mercurio	0.17	0.486			
Plomo	35	91.3			
Zinc	123	315			

Fuente: CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines), actualizado al 2014.

Lo más resaltante de esta investigación es que se llegó a determinar el comportamiento geoquímico geológico de los metales pesados en los sedimentos. A medida que se interpretaban los resultados, surgieron nuevas interrogantes: ¿Cómo el contenido de metales pesados en los sedimentos pasaba al sistema hidrológico, en qué proporción y en qué tiempo? Es decir, hay que hacer análisis de nuevas muestras para determinar la biodisponibilidad de estos metales, que viene a ser el grado de disponibilidad por el cual un contaminante en una fuente potencial se halla libre para ser captado por un organismo, y que está en función de la geo disponibilidad, dispersión, movilidad, modo de exposición, especificación biológica y a la susceptibilidad individual de un organismo. Para ello, se debe determinar la geo disponibilidad, que viene a ser la porción del contenido total de elementos o compuestos de un material terrestre, en este caso, los sedimentos fluviales, que pueden ser liberados en el ambiente superficial a

través de procesos mecánicos, químicos y biológicos. Un elemento o un compuesto, está relacionada a la susceptibilidad y a la disponibilidad de sus facies minerales ante las reacciones de alteración intempérica.

#### 5.1 Arsénico

Las estaciones de muestreo P1, P4 Y P11 contienen concentraciones de Arsénico que sobrepasan los valores permisibles según Directrices Canadienses de Calidad Ambiental (Canadian Council of Ministers of the Environment CEQG, 2002. Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática), las altas concentraciones de arsénico según lo observación en campo y el estudio de secciones delgadas se debe a la presencia de Arsenopirita (FeAsS) en este tipo de yacimiento.

#### 5.2 Cadmio

El contenido medio en la corteza terrestre de este metal pesado esta entre 0,15 y 0,20 ppm. Las rocas con mayor contenido en cadmio son las lutitas carbonosas formadas bajo condiciones reductoras. El contenido en Cd está directamente relacionado geoquímicamente con el contenido en Zn. Los suelos con mayor concentración de este elemento son aquellos derivados de lutitas.

El contenido de Cadmio lo encontramos como impureza en el zinc, las concentraciones de Cadmio sobre pasan ligeramente los valores límites permisibles ya que las concentraciones de Zinc están en el rango permitido.

Las estaciones de muestreo P3 y P11 contienen concentraciones de Cadmio que sobrepasan los valores permisibles y esto debido a influencia de dos fuentes:

de las esfalerita (como impurezas en el Zinc), que se encuentra en los yacimientos y del Grupo Casma en la cuenca chillon.

#### 5.3 Cromo

Es muy común en suelos derivados de serpentinitas. También aparece en gran cantidad en rocas ígneas ultramáficas, lutitas y arcillas.

La concentración del cromo en el área de estudio se encuentra entre los limites permisibles no existiendo contaminación por este metal, la mayor concentración del cromo se da en rocas Máficas. Pero en el área de estudio, las rocas félsicas son predominantes es por ello que la concentración de este metal es baja.

#### 5.4 Cobre

El contenido medio en la corteza terrestre está en torno a las 50 ppm (Bowen, 1979) apareciendo en la naturaleza en forma de sulfitos, sulfatos, carbonatos, sulfosales o como metal nativo. En suelos aparece en una cantidad media de 30 ppm (Adriano, 1986) variando las cantidades dependiendo de la zona climática (Aubert and Pinta, 1977) estando presentes las mayores en zonas con climas tropicales húmedos.

La estación P9 es la única que sobrepasa los valores límites permisibles, generando contaminación en esta área, esto debido a que según lo observación en campo y las secciones delgadas estudiadas la calcopirita (CuFeS2) está asociada a la formación del oro en este yacimiento.

#### 5.5 Mercurio

El contenido medio en la corteza terrestre de este metal pesado es de 50 ppb. Aparece en todo tipo de rocas siendo su contenido especialmente alto en lutitas ricas en materia orgánica. El contenido normal en suelos no debería superar los 100 ppb.

Las estaciones P2 y P7 contienen valores anómalos de este metal pesado, según lo observado en campo, el Mercurio lo utilizan en algunas labores para la recuperación del oro.

#### 5.6 Plomo

El contenido medio en la corteza terrestre de este metal pesado es de 50 ppb. Aparece en todo tipo de rocas siendo su contenido especialmente alto en lutitas ricas en materia orgánica. El contenido normal en suelos no debería superar los 100 ppb.

Las estaciones P1 y P7 contienen valores anómalos de este metal pesado, según lo observado en campo y según el estudio de secciones delgadas, este metal pesado lo obtenemos de la galena que es típico en este tipo de yacimientos.

#### **5.7 Zinc**

Aparece en la corteza terrestre en un contenido medio de aproximadamente 70 ppm (Krauskopf, 1979). Aparece principalmente asociado a minerales formadores de rocas ricas en hierro (como la magnetita, la biotita, el granate, los piroxenos y los anfíboles) concentrándose por tanto en rocas ígneas y metamórficas. Los suelos formados a partir de rocas básicas presentan un contenido superior en Zn que las rocas ácidas siendo la media general de en torno a las 40 ppm (Berrow and Reaves, 1984).

todas las estaciones de muestreo no sobrepasan los valores de concentración permisibles, el mayor valor obtenido según análisis es de 180 ppm, pero este valor está dentro de lo permitido según Directrices Canadienses de Calidad Ambiental (Canadian Council of Ministers of the Environment CEQG, 2002. Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática).

# CAPÍTULO VI PROPUESTA DE INGENIERÍA

### 6.1 Impactos de la Actividad Minera Artesanal

La actividad Minera Artesanal en el Distrito de Santa Rosa de Quites, Valle del Río Chillón, significa los siguientes riesgos e impactos socio ambientales:

- ➤ En la localidad de Pucará, se percibe un cambio instantáneo de la dinámica económica social, que contrasta negativamente con las actividades normales agropecuarias, recreativas y turísticas; potencial central del valle.
- > Impacto en el medio urbano.
- Impacto directo con la destrucción del Patrimonio Histórico cultural: destrucción de la Huaca Pucará.

- ➤ El transporte y tránsito vehicular se ha visto interferido por las actividades mineras artesanales informales, por la concentración de población y el comercio en la vía; lo que representa una alta inseguridad.
- ➤ El potencial agroecológico despensa natural de Lima Metropolitana, el ecoturismo de calidad natural y recreativo reconstituyente para los limeños; se ha puesto en alto riesgo y el colapso de la producción de frutales, choclo, leche y queso de cabra, etc.
- Se viene construyendo un altísimo riesgo de contaminación de las aguas del Río Chillón y de las aguas subterráneas del Valle Chillón, con mercurio, cianuro y metales pesados altamente tóxicos; que ponen en riesgo la salud humana, los cultivos, la ganadería y la recreación.
- ➤ En este contexto, se pone en alto riesgo, la nueva Planta de Potabilización de Agua de Punchauca, para suministro del Cono Norte de Lima Metropolitana; donde habitan más de 2'000000 de personas.
- ➤ La ocurrencia periódica del fenómeno El Niño, con altas precipitaciones pluviales en las partes bajas de la Cuenca Chillón, constituye un alto riesgo en la difusión de la contaminación química tóxica y los aluviones de huaycos cargados con los desmontes de las Minas, por las quebradas Pucará y Caballero o Río Seco; donde ya existen poblaciones urbanas en expansión.

De acuerdo a la dimensión de la problemática socio ambiental generada, y de acuerdo a las funciones y competencias de las instituciones del Estado y la Sociedad Civil; las

autoridades que deberían participar en las reuniones para afrontar esta problemática son:

#### **GOBIERNOS LOCALES**

- Municipalidad Provincial de Lima Metropolitana.
- Municipalidad Provincial de Canta.
- Municipalidad Distrital de Carabayllo.
- Municipalidad Distrital de Santa Rosa de Quites.
- Municipalidad Distrital de San Antonio.

#### **GOBIERNOS REGIONALES**

Gobierno Regional de Lima.

#### **GOBIERNO CENTRAL**

- PCM CONAM: Ente rector y cabeza del sistema nacional de gestión ambiental.
- > PCM PROCUENCA: Ente Promotor.
- MINEM DGAA: Ente Ambiental Supervisor de la actividad minera.
- ➤ MINSA DIGESA: Ente que vela por la calidad de las aguas y el aire.
- MINSA DGSP: Ente que vela por la salud de las personas.
- MINSA OGE: Ente que vela por la epidemiología y toxicología.
- MIMDES: Ente protector de la mujer, la niñez y promotor del desarrollo social.
- ➤ MINAG INRENA: ente rector de los recursos naturales (aguas, suelos, flora, fauna, paisaje, administración técnica de riego).

#### SOCIEDAD CIVIL

- Junta de Usuarios del Valle Chillón.
- Comunidad Campesina de Jicamarca.
- ➤ ONGs Alternativa.

En estas reuniones se debe replantear este sistema de trabajo, mediante un acuerdo entre los propietarios de las concesiones, los trabadores informales y las autoridades del Estado, para organizar un sistema operativo en mejores condiciones de trabajo y operatividad que mejore el status social de los trabajadores y el beneficio económico de los 3 estamentos participantes, incluido el Estado.

### 6.2 Presupuesto

El costo para el desarrollo del trabajo de investigación fue S/3030, dichos gastos se detallan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1 Presupuesto para el desarrollo del Trabajo de Investigación.

	PRESUPUESTO						
ITEM			PRECIO UNITARIO	GASTO			
1. Laboratorio			S/.	S/.			
Análisis químico	15	7 días \$30		S/1,800			
2. PERSONAL							
Asistente de investigación	1	4 días	S/60	S/240			
3. EQUIPOS							
Computadora	1	5 meses		S/100			
Internet	1	5 meses		S/100			
Impresora	1	5 meses		S/120			
4. VIAJES							
Viáticos		4 días	S/80	S/320			
Transporte		4 días	S/70	S/280			
5. MATERIALES							
Tablero	1	4 días	S/3	S/12			
CDs	4		S/2	S/8			
Hojas bond	500		s/0.1	S/50			
COSTO DEL GASTO TOTAL				S/3030			

#### **CONCLUSIONES**

 La zona de estudio se ubica sobre la Franja Metalogenética que alberga depósitos de Au, Pb, Zn, Cu y está relacionada con intrusivos del Cretácico Superior (Batolito de la Costa), principalmente en tonalitas, dioritas, y granodioritas de la Superunidad Santa Rosa del Cretáceo Superior, controladas por fallas transcurrentes NE - SW.

La mineralización es principalmente aurífera en vetas de cuarzo con sulfuros. El oro se presenta y extrae de dos zonas mineralógicas bien definidas: una zona oxidada conteniendo limonitas y hematitas hacia la superficie y otra de sulfuros primarios con mineralización hipógena de pirita y menores proporciones de calcopirita, pirrotita, arsenopirita, galena, esfalerita. El contenido de metales pesados en los sedimentos superficiales, caracteriza zonas con elevados niveles que reflejan la existencia de una contaminación antropogénica. La contaminación causada por metales pesados decrece en el siguiente orden: Este > Centro > Oeste. Esta distribución está relacionada a una mayor actividad de minería artesanal en la zona este de la cuenca.

- Con ayuda de los Histogramas podemos identificar valores de metales pesados que sobrepasan los límites permisibles según Directrices Canadienses de Calidad Ambiental
- Con el uso de las Cajas y Bigotes identificamos el porcentaje de valores de metales pesados que sobrepasan los límites permisibles según Directrices
   Canadienses de Calidad Ambiental (Canadian Council of Ministers of the

Environment CEQG, 2002. Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática).

- La generación de mapas de Isovalores nos ayuda a identificar áreas con mayor
   y menor concentración de metales pesados.
- Las concentraciones de As, Cd, Zn, Cu, Cr, Hg y Pb en los sedimentos superficiales del área de estudio, están asociadas directamente con el tamaño del grano prevaleciente, encontrándose las mayores concentraciones en los sedimentos más finos.
- Las concentraciones de metales pesados (cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo, zinc y arsénico) en las estaciones de muestreo son variables, con concentraciones no permisibles en varios casos, como son las altas concentraciones de plomo y mercurio en las estaciones P1, P2, P7 y P11, el incremento de estos valores es fundamentalmente por la influencia de la actividad humana mediante la Minería Artesanal.
- Los metales pesados en los sedimentos superficiales del área de estudio, de acuerdo a la concentración de valores anómalos, se presentan en el siguiente orden: Cu > Pb > As > Cd > Hg > Cr > Zn

 Según los resultados de las concentraciones de metales pesados se concluye que:

#### **Arsénico**

Las estaciones P-1, P-4 y P-11 son áreas de riesgo para los pobladores de la comunidad, mientras que en el resto de estaciones el nivel de arsénico no ocasionaría ningún efecto biológico adverso.

#### Cadmio

La concentración de cadmio de las estaciones P-3 y P-11 son áreas de riesgo y ocasionarían efecto biológico adverso.

#### Cromo

En todas las estaciones el nivel de cromo no ocasionaría efectos biológicos adversos.

#### Cobre

En la estación P-9 la concentración de cobre ocasionaría efecto biológico adverso, mientras que en las demás estaciones se encuentran dentro de lo permisible.

#### Mercurio

La concentración de las estaciones P-2 y P-7 sobrepasan los límites permisibles, siendo un peligro para la salud de los pobladores de esa localidad.

#### Zinc

Todas las estaciones no contienen concentraciones que ocasionen efectos biológicos adversos.

#### Plomo

Las concentraciones de las estaciones P-1 y P-7 sobrepasan los límites permisibles, siendo un peligro para la salud de los pobladores de las localidades aledañas.

- El trabajo de tesis fue desarrollado con el propósito de complementar conocimientos al trabajo de investigación realizado por el INGEMMET (Actividad minera artesanal en la cuenca del Río chillón, Minería de Yangas Canta, Región Lima), encontrando los límites permisibles de los minerales pesados que contaminan el medio ambiente y que causan efectos biológicos adversos como bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; afectando principalmente a los seres humanos.
- El propósito de reducción de la contaminación, es de importancia vital, para que los pobladores ya no estén expuestos a la contaminación por metales pesados y que su calidad de vida mejore, fortaleciendo su salud física y mental.

#### RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar un estudio de especiación química en aquellas zonas donde los niveles de calidad de sedimentos hayan sido superados, con el fin de establecer los niveles de biodisponibilidad de cada uno de estos, por ende, cuan dañinos pueden ser para la vida animal y/o vegetal.
- Adoptar medidas de prevención por parte de las entidades competentes, como
  el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en los sectores
  donde se observan valores anómalos de metales pesados, obtenidos en los
  análisis químicos de sedimentos.
- Realizar capacitaciones a los mineros artesanos sobre el cuidado del medio ambiente y el uso responsable de productos químicos, incentivando la toma de conciencia del daño a que están expuestos ellos y las personas que consumen productos agrícolas contaminados con sus residuos.
- Desarrollar una mayor supervisión por parte de la OEFA para el cumplimiento de las normas establecidas y asesorarlos para la formalización de sus actividades, de manera que también puedan tributar y estar sujetos a sanciones a futuro, por infringir las normas de cuidado medio ambiental, si fuera el caso.
- Efectuar una mayor capacitación sobre el uso de EPP y de la formalización, para un mayor control, por parte de las entidades pertinentes como la OEFA.
   Actualmente los mineros informales realizan trabajos muy artesanales, no prevaleciendo el cuidado de la vida humana.

- Poner mayor énfasis en el control medioambiental en las zonas con mayor grado de contaminación, realizando el monitorio geoquímico frecuente en el área de estudio, sobre todo en las zonas de mayor contaminación. Debido a que la agricultura es una actividad paralela, para la subsistencia de la comunidad.
- Replantear el sistema de trabajo, mediante un acuerdo entre los propietarios de las concesiones, los trabadores informales y las autoridades del Estado, para organizar un sistema operativo en mejores condiciones de trabajo y operatividad que mejore el status social de los trabajadores y el beneficio económico de los 3 estamentos participantes, incluido el Estado.
- Difundir este trabajo, a fin de contribuir con la creación de una cultura de prevención y de cuidado al medio ambiente. Para ello se debe considerar que las medidas planteadas (Análisis Geoquímico de Metales Pesados) en este estudio son de carácter orientativo y permiten tomar medidas prioritarias a escala general; sin embargo, es necesaria la realización de estudios geoquímicos a escala de detalle, por organismos como el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvaro Domínguez López, (2015) Análisis Geoestadístico de los Niveles Geogénicos de Metales Pesados en Suelos de Asturias.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, (1995) "Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life".
- C. Cabrera, et al, (2001) Análisis Integrado de trabajo de campo, aplicado a la Cuenca Media y Baja del Río Chillón, Lima. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal Cienc. Geogr, 4(7): 7-12.
- Calderón Cesar y Valdés Jorge, (2012) "Contenido de Metales en Sedimentos y Organismos Bentónicos de la Bahía San Jorge, Antofagasta, Chile".
- Espinosa Luisa Fernanda, Parra Juan Pablo, y Villamil Carlos, (2011) "Determinación del contenido de Metales Pesados en las Fracciones Geoquímicas del Sedimento Superficial asociado a los Manglares de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia".
- E. J. Cobbing, W. S. Pitcher, & J. Garayar, (1973) Geología de los Cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta. Servicio de Geología y Minería, Boletín, 26, 172 p.
- INGEMMET, 2013 "Estudio de los Recursos Minerales del Perú, Franja No. 4., Boletín, Serie B: Geología Económica, 14, 422 p".
- E. Loaiza, (1997) Proyecto Minero de Inversión para la Mina Cone1. Tesis Bach., Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

- F. José Carlos, (2011) "Hidrogeología de la Cuenca del Río chillón".
- Marco Antonio Alfaro Sironvalle, (2007) " Estimación de Recursos Mineros".
- Mora Abrahán, Jumbo Flores Diana, González Merizalde y Mable Bermeo Flores Santos,

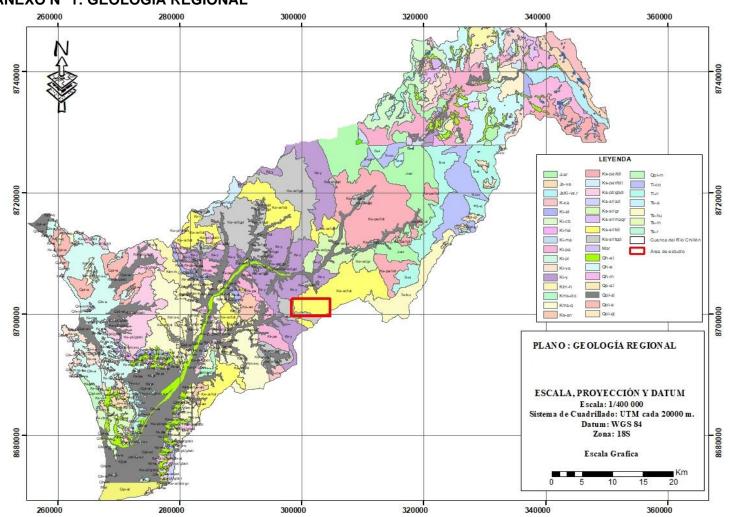
  (2016) 'Niveles de Metales Pesados en Sedimentos de la Cuenca del Río

  Puyango'.
- Municipalidad Metropolitana de Lima, (2017) "Diagnostico Ecológico Físico de la Cuenca del Río Chillón".
- M. Valcárcel, & I. Cancino, (2000) Institucionalidad y Riego: el caso del Valle Chillón.
  Debate Agrario: Análisis y Alternativas, (31): 77-97.
- O. Palacios, J. Caldas & Ch. Vela, (1992) Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica.
- INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 43, 163 p.
- P. Oscar, C. Julio y Churchil V, (1992) "Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica".
- PERÚ. Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental, (2008) Vigilancia de la Calidad de los Recursos Hídricos: Río Chillón 2007 (en línea). Lima: DIGESA. (consulta: junio 2008).
- Quispe Yana Raúl, (2017) "Evaluación de la Concentración de Metales Pesados (Cromo, Cadmio y Plomo) en los Sedimentos Superficiales del Río Coata".

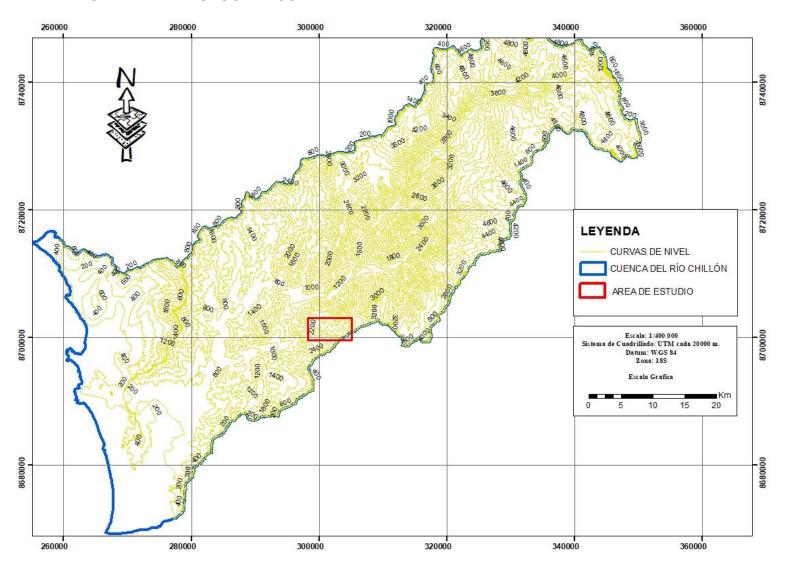
- R. Hugo, C. Jorge, Z. Karla y Petersen Paolo, (2007) "Dispersión Secundaria de los Metales Pesados en Sedimentos de los Ríos Chillón, Rímac y Lurín Departamento de Lima".
- V. Sánchez, I. Rodríguez, & J. Quispe, (2007) Evolución Tectónica de la Deflexión de Huancabamba, Norte del Perú: Implicancias Geodinámicas y Económicas, Informe Inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
- V. Sandra, V. Jenny y N. Segundo, (2010) "Zonas Críticas por Peligros Geológicos en la Cuenca del Río Chillón".

# **ANEXOS**

# **ANEXO N° 1: GEOLOGÍA REGIONAL**



# **ANEXO N° 2: MAPA TOPOGRÁFICO**



# ANEXO N° 03: RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO (SGS PERÚ)



#### LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON REGISTRO Nº LE - 002



#### INFORME DE INFORME CON VALOR OFICIAL MA18906071

A solicitud de: HENOSTROZA ROMERO HENRRY MAXNELL

Dirección: Urb. Los Viñedos Mz I Lt 6 Puente Piedra

Solicitud de ensayo: ENV / LB-320024-032

 Muestreo realizado por:
 CLIENTE
 Cantidad de Muestras
 15

 Procedencia:
 CUENCA DEL RIO CHILLÓN
 Fecha de recepción
 11-05-2021

 Producto descrito como:
 Sedimento
 Fecha de ensayo
 11-05-2021

 Fecha de emisión
 13-05-2021

Método de Muestreo: ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Edgar Zárate Aguilar Supervisor de laboratorio C.I.P. 22151

Este documento es emitido por la compañía bajo sus condiciones generales de servicio, que pueden encontrarse en la página <a href="https://www.srs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.asos.">https://www.srs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.asos.</a> Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnización y jurisdicción definida en dichas condiciones generales de servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe publica y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú SA.C.

los resultados del informe de ensayo solo son válidos para la(s) muestras ensayadas(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras has sido tomadas.

Ultima revisión mayo 2021

SGS del Perú S.A.C Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 5171900 www.sgs.pe

Miembro del grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

RESULTADO DE ANÁLISIS DE METALES PESADOS (mg/Kg)								
Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Hg	
Unidad	mg/Kg							
Límite de detección	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
P-1	35.11	1.21	13.33	20.21	131.1	115.3	0.01	
P-2	3.19	0.8	2.19	14.25	7.83	110.21	0.69	
P-3	3.21	3.61	21.33	37.69	14.09	131.33	0.01	
P-4	24.13	2.31	2.13	20.3	9.31	90.2	0.3	
P-5	11.13	0.91	7.25	25.1	7.61	31.4	0.02	
P-6	13.21	3.21	21.37	19.2	7.33	112.2	0.01	
P-7	3.21	1.2	3.2	32.14	121.3	180.21	0.71	
P-8	2.31	1.19	15.61	31.25	27.13	89.31	0.01	
P-9	1.11	2.15	1.21	204	14.11	92.27	0.01	
P-10	3.42	0.89	37.9	26.13	16.15	99.13	0.18	
P-11	18.12	3.7	22.5	38.4	37.9	126.1	0.17	
P-12	7.2	0.4	37.4	12.11	21.7	13.2	0.01	
P-13	4.21	0.31	12.4	80.1	4.12	91.4	0.01	
P-14	2.13	2.3	11.3	13.1	16.31	86.1	0.01	
P-15	1.11	3.2	0.1	25.3	41.3	54.13	0.01	

Edgar Zárate Aguilar Supervisor de laboratorio C.I.P. 22151