

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Modelamiento de dispersión geoquímica de metales pesados en agua en la zona
de incidencia del proyecto minero “Loma Larga”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de

INGENIERO EN MINAS

Autores:

JOSÉ DAVID QUEZADA CORDERO

KARINA ANDREA VINTIMILLA ROBALINO

Director:

JUAN RODRIGO CALDERÓN MACHUCA

CUENCA – ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Karina Vintimilla

El presente trabajo dedico a mi papá Oswaldo V que desde el cielo siempre me ha cuidado y gracias a sus grandes sacrificios ahora puedo cumplir esta gran meta; a mi mamá Amparito R una mujer muy fuerte que día a día ha luchado incansablemente para mí bienestar y a pesar de las dificultades nunca dejó de apoyarme y confío en mí.

A mi enamorado David Q que ha estado a mi lado de manera incondicional apoyándome y dándome fuerzas para no rendirme con sus consejos y sobre todo su amor infinito.

A mi hermana Jhajanny que fue un regalo de la vida inesperado pero muy valioso y a mi abuelito Reinaldo R mi segundo angelito que siempre me regalo un consejo.

DEDICATORIA

David Quezada

El presente trabajo de graduación quiero dedicarles a mis padres Oswaldo Quezada y Nelly Cordero quienes han sido parte fundamental en mi carrera universitaria y que gracias a su apoyo, afecto y sacrificio pude superar todos los obstáculos presentes en mi vida.

A mis hermanos Kleber, Jackeline y Adrián por siempre estar a mi lado en los buenos y malos momentos y brindarme su apoyo incondicional.

A mi enamorada Karina Vintimilla quien me acompañó a lo largo de toda mi carrera universitaria y me enseñó lo que es amar y comprender a una persona, siendo mi pilar fundamental y mi mayor motivación para salir adelante siempre.

A Martí Quezada (+) quien no pudo compartir este momento de alegría conmigo, pero siempre me brindó una amistad verdadera en el corto tiempo compartido.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a la escuela de ingeniería en minas por darnos la oportunidad de ser parte de ella y haber obtenido los conocimientos necesarios para el día de hoy poder obtener nuestros títulos profesionales.

En segundo lugar, a nuestro director de tesis Dr. Juanito Calderón por el apoyo y paciencia brindada en el presente trabajo de titulación y quien a lo largo de nuestra formación académica siempre estuvo presente como un excelente profesor y amigo brindándonos consejos que nos ayudaron a formarnos como personas.

En tercer lugar, a la empresa INV Metals por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de titulación en el proyecto minero Loma Larga, de manera especial al Ing. Carlos Criollo y al Ing. Jorge Barreno por la ayuda brindada en este proceso.

También queremos agradecer a nuestro tribunal de tesis el Ing. Leonardo Núñez y de manera especial al Ing. Fernando Valencia quien ha sabido guiarnos a lo largo de nuestra carrera estudiantil como profesor y persona

Finalmente agradecemos a nuestro amigo el Ing. Roberto Peralta quien nos brindó su ayuda y colaboración para desarrollar este trabajo de graduación.

Karina Vintimilla

Primero agradezco a Dios y a la Virgen por darme la salud y la vida para llegar a este momento; en segundo lugar, de manera muy especial a Vicente V que siempre me ha brindado su apoyo sin interés alguno para que yo pueda cumplir mis sueños.

A mi familia Robalino, gracias por ayudarme a culminar mis estudios y estar pendientes en cada paso que doy y ser un gran ejemplo como familia.

Felipe (Burrito) mi gran amigo gracias por tu valiosa amistad y brindarme tu ayuda siempre que lo he necesitado y a mis amigos de curso por las experiencias compartidas.

David Quezada

En primer lugar, agradezco a Dios y la Virgen Santísima, por siempre cuidar de mi camino y darme la fortaleza para hoy poder cumplir una de mis mayores metas.

A mis padres y hermanos por brindarme todo su amor en cada etapa de mi vida, y siempre brindarme consejos para poder salir adelante y jamás rendirme ante cualquier problema que se presente en la vida.

A toda mi familia quienes de una u otra manera estuvieron apoyándome a lo largo de este proceso académico.

A mis compañeros de carrera Jefferson, Nelly, Byron, Martí (+), quienes hicieron que la universidad no sea solo estudios sino también viajes, aventuras, fiestas, risas demostrando así que aún existen amistades verdaderas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Geoquímica	3
1.2 Metales pesados.....	3
1.2.1 Zinc	4
1.2.2 Cadmio	4
1.2.3 Mercurio.....	4
1.2.4 Plomo	5
1.2.5 Arsénico	5
1.3 Espectrometría de absorción atómica.....	5
1.3.1 Espectrometría de absorción atómica mediante horno de grafito	6
1.4 Polarimetría	7
1.4.1 Principios de la polarimetría	7
1.5 Absorción atómica por vapor frío.....	8
1.5.1 Descripción del método absorción atómica por vapor de frío	9
1.6 Geoestadística.....	10
1.7 Sistemas de información geográfica.....	10
1.7.1 Kriging	12
1.8 Factores que dependen la precisión del método	13
1.8.1 Tipos de Kriging	13

1.9	Origin graphing & analysis	14
1.9.1	Parámetros que se obtienen para el análisis geoestadístico	14
1.10	Diagramas de Pourbaix	17
1.10.1	Descripción de Diagrama de Pourbaix.....	17
1.11	Drenaje ácido de roca (DAR)	18
1.11.1	Clasificación del agua según su acidez	19
1.12	Definición de pH.....	19
1.12.1	Escala del pH.....	19
1.13	Bacterias.....	20
1.13.1	Bacteria Thiobacillus Ferrooxidans	21
CAPÍTULO 2.....		23
ASPECTOS GENERALES		23
2.1	Ubicación de la zona de estudio	23
2.2	Caracterización del ecosistema	23
2.2.1	Clima	23
2.2.2	Vegetación.....	25
2.2.3	Fauna	26
2.3	Geología regional	27
2.3.1	Formación Turi (M_T).....	28
2.3.2	Formación Turupamba (M_{TU})	29
2.3.3	Formación Quimsacocha (M_q)	29
2.3.4	Formación Tarqui (M_{Tq}).....	29
2.3.5	Rocas intrusivas	30
2.3.6	Depósitos cuaternarios	30
2.4	Geología local	31
CAPÍTULO 3.....		34
METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE METALES PESADOS		34
3.1	Tipo de estudio	34
3.2	Área de estudio.....	34
3.3	Muestreo de agua.	34
3.4	Preparación de muestras y análisis.....	36
3.4.1	Polarografía:	36

3.4.2	Horno de grafito:	36
3.4.3	Vapor frío:	36
CAPÍTULO 4	37
ELABORACIÓN DE MODELO DE DISPERSIÓN	37
4.1	Validación e interpretación de datos	37
4.1.2	Verificación de normalidad	37
.....	38
4.1.3	Diagrama de caja de zinc	38
4.1.4	Pruebas de correlación lineal de Pearson de Zinc	40
4.1.5	Correlación con las coordenadas	40
4.2	Mapa de concentraciones relativas	41
4.3	Modelo de dispersión geoquímica del Zn	42
4.3.1	Diagrama de Pourbaix de zinc	43
4.3.2	Diagrama de Pourbaix de plomo (Pb)	44
4.3.3	Diagrama de Pourbaix de mercurio (Hg)	46
CAPÍTULO 5	48
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE BACTERIAS EN AGUA	48
5.1	Medio de cultivo	48
5.2	Muestreo de agua para análisis microbiológico	49
5.3	Análisis y resultados del laboratorio	50
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Polarización	8
Figura 1.2 Actividad óptica.....	8
Figura 1.3 Esquema de absorción atómica.....	9
Figura 1.4 Tipos de Sistemas de Información Geográfica.....	11
Figura 1.5 Ejemplo formato raster	11
Figura 1.6 Histograma.....	15
Figura 1.7 Partes del diagrama de caja (box plot).....	16
Figura 1.8 Diagrama de Pourbaix	17
Figura 1.9 Escala del pH	20
Figura 2.1 Vías de acceso hacia el Proyecto Loma Larga	23
Figura 2.2 Símbolos de la nubosidad	24
Figura 2.3 Clima del proyecto loma larga.....	25
Figura 2.4 Nubosidad del proyecto loma larga	25
Figura 2.5 Vegetación del proyecto Loma Larga.....	26
Figura 2.6 Halenia serpyllifolia.....	26
Figura 2.7 Gorrión en el proyecto Loma Larga	27
Figura 2.8 Geología de Ecuador.....	28
Figura 2.9 Formaciones geológicas en el proyecto minero Loma Larga.....	30
Figura 2.10 Fallas en el proyecto minero Loma Larga	31
Figura 2-11 Sistema completo de fallas del proyecto Loma Larga	32
Figura 2.12 Geología local.....	33
Figura 3.1 Zona de muestreo del proyecto Loma Larga	34
Figura 3.2 Toma de muestras de agua.....	35
Figura 3.3 Etiquetado de muestras de agua.....	35
Figura 3.4 Preparación de muestras	36
Figura 3.5 Filtrado de muestras.....	36
Figura 4.1 Flujograma para el análisis visual y exploratorio de datos.....	37
Figura 4.2 Estadística Descriptiva de Zinc	38
Figura 4.3 Histograma y distribución normal de zinc.....	38

Figura 4.4 Diagrama de caja de datos de zinc.....	39
Figura 4.5 Diagrama de dispersión de zinc.....	40
Figura 4.6 Mapa de concentraciones relativas.....	41
Figura 4.7 Modelo de dispersión geoquímica de zinc.....	42
Figura 4.8 Modelo de Dispersión Geoquímica en el río Bermejos.....	43
Figura 4.9 Diagrama de Pourbaix de zinc.....	44
Figura 4.10 Diagrama de Pourbaix de plomo.....	45
Figura 4.11 Dispersión de plomo en sedimentos.....	46
Figura 4.12 Diagrama de Pourbaix de mercurio.....	47
Figura 5.1 Preparación del medio de cultivo.....	49
Figura 5.2 Preparación de soluciones del medio de cultivo.....	49
Figura 5.3 Zona de muestreo de agua para las bacterias.....	50
Figura 5.4 Agua inoculada en el cultivo.....	51
Figura 5.5 Cambio de coloración semana 3 muestra 10ml.....	53
Figura 5.7 Cambio de coloración semana 4 10 ml.....	54
Figura 5.8 Cambio de coloración semana 4 1ml.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de kriging	13
Tabla 1.2 Tipos de cuartil	15
Tabla 1.3 Clasificación de aguas según su acidez.....	19
Tabla 1.4 Medio de cultivo de Silverman	22
Tabla 4.1 Coeficiente de correlación de muestras	40
Tabla 4.2 Correlación de Pearson con Coordenadas.....	41
Tabla 5.1 Composición del medio de cultivo de Silverman	48
Tabla 5.2 pH inicial de las muestras	50
Tabla 5.3 pH primera y segunda semana	52
Tabla 5.4 pH semana 3 muestra 10ml.....	53
Tabla 5.5 pH semana 3 muestra de 1ml	53
Tabla 5.6 pH semana 4 muestra 10ml.....	54
Tabla 5.7 pH semana 4 muestra 1ml.....	55
Tabla 5.8 Resultado Final de la Inoculación de la Bacteria.....	56
Tabla 5.9 Resultado de presencia de la Bacteria.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultado de concentración de las muestras de Plomo, Cadmio y Zinc	65
Anexo 2. Resultado de concentración de las muestras de Arsénico y Mercurio	69
Anexo 3. Coordenadas de toma de muestra de bacterias	72
Anexo 4. Registro fotográfico	73

**MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN GEOQUÍMICA DE METALES
PESADOS EN AGUA EN LA ZONA DE INCIDENCIA DEL PROYECTO
MINERO “LOMA LARGA”**

RESUMEN

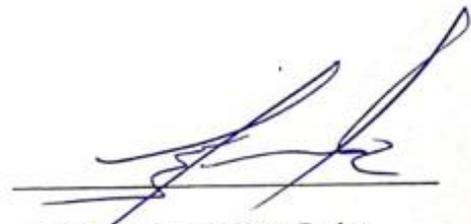
La presente investigación establece un modelo de dispersión geoquímica de metales pesados en agua, en el área de influencia directa del Proyecto minero “Loma Larga” operada por la Empresa INV Metals que actualmente se encuentra en una fase de exploración avanzada. Busca conocer el comportamiento de metales tales como: Plomo, Zinc, Cadmio, Arsénico y Mercurio, para establecer su distribución en los drenajes de las microcuencas del los ríos Irquis, Tarqui, Bermejos y Rircay, previo el análisis de cien muestras de agua, se determinó la concentración de los metales citados para obtener una interpolación geoestadística y desarrollar un modelo de dispersión geoquímica.

Palabras claves: geoquímica, geoestadística, metales, microcuencas, dispersión.



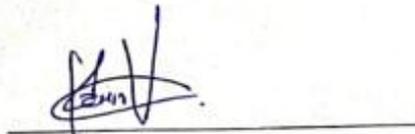
Juan Rodrigo Calderón Machuca

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



Karina Andrea Vintimilla Robalino

Author



José David Quezada Cordero

Author

**MODELING OF GEOCHEMICAL DISPERSION OF HEAVY METALS IN
WATER AT THE INCIDENCE AREA OF THE "LOMA LARGA" MINING
PROJECT**

ABSTRACT

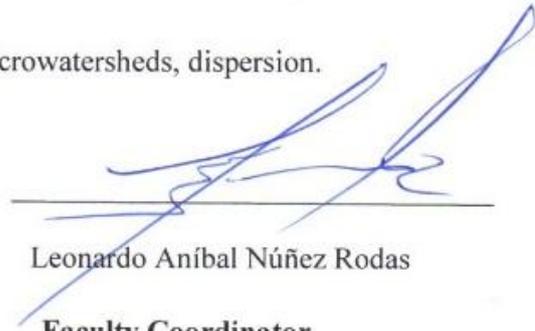
The present investigation establishes a model of geochemical dispersion for occurring heavy metals in water at the area of direct influence at the "Loma Larga" Mining Project, operated by INV Metals, which is currently in an advanced exploration phase. The study seeks to determine the behavior of metals such as: Lead, Zinc, Cadmium, Arsenic and Mercury to establish their distribution in the drainages of the microwatersheds of the Iruquis, Tarqui, Bermejos and Rircay rivers. After analyzing one hundred water samples, the concentration of the aforementioned metals was determined to obtain geostatistical interpolations and develop a geochemical dispersion model.

Keywords: geochemistry, geostatistics, metals, microwatersheds, dispersion.



Juan Rodrigo Calderón Machuca

Thesis Director



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Faculty Coordinator



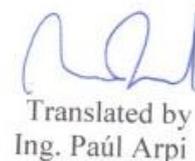
Karina Andrea Vintimilla Robalino

Author



José David Quezada Cordero

Author



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Jose David Quezada Cordero ; Karina Andrea Vintimilla Robalino

Trabajo de Titulación

Doc. Juan Rodrigo Calderón Machuca

Marzo 2018

**MODELAMIENTO DE DISPERSIÓN GEOQUÍMICA DE METALES
PESADOS EN AGUA EN LA ZONA DE INCIDENCIA DEL PROYECTO
MINERO “LOMA LARGA”**

INTRODUCCIÓN

En esta última década el Ecuador ha puesto de manifiesto grandes reservas de yacimientos polimetálicos con 5 proyectos estratégicos de minería tales como: Río Blanco, Fruta de Norte, Mirador, San Carlos Pananza y Loma Larga, que posteriormente serán de gran ayuda para la actividad económica del país. Sin embargo la conciencia del cuidado hacia el ambiente ha ido creciendo en los últimos años, por lo tanto si hablamos de minería hablamos también de como minimizar los impactos ambientales que podrían generarse.

El proyecto minero Loma Larga se encuentra ubicado en la provincia del Azuay entre los cantones Cuenca, Girón y San Fernando, donde existe un ecosistema frágil comprendido por páramo andino, humedales y bosques nativos, es por ello que se cree necesario realizar un análisis geoquímico de metales pesados, en los principales ríos y drenajes ubicados en la zona de influencia, para conocer el estado actual de las fuentes hídricas que descienden hacia la parte del cantón Cuenca y Girón, y poder plantear estrategias para evitar daños ambientales y salvaguardar la salud de los pobladores de los cantones mencionados.

Se ha realizado un estudio geoquímico de (Pb) en sedimentos en la zona del proyecto, donde se ha determinado concentraciones de Pb entre 15 y 22 ppm, por lo que se ha creído necesario complementar la información con un análisis geoquímico de metales pesados en el agua tales como: Pb, Zn, Cd, As y Hg y así conocer más a detalle cual es la distribución y su comportamiento de los metales.

Mediante la recolección de 100 muestras de agua en la zona del proyecto, se realizaron análisis mediante polarografía y absorción atómica por los métodos de horno de grafito y vapor frío en el laboratorio de la Universidad del Azuay, donde posteriormente se interpretaron los datos, y realizando una interpolación geostadística mediante un kriging, se logro generar un Modelo de Dispersión Geoquímica de Zn debido a que de los demás metales no se obtuvo resultados de concentraciones.

Los resultados obtenidos en la concentración de Zinc está entre 18,92 ppb hasta 196,28 ppb siendo resultados razonables debido a que los valores altos se encuentran cercanos al depósito, mientras que los valores bajos se encuentran en las zonas más bajas de las cuencas, sin embargo los valores obtenidos están por debajo de los límites permisibles que son 2000 ppb para el uso agrícola en riego y de 5000 ppb para el consumo humano y doméstico, de acuerdo con el Anexo 1, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Adicionalmente se realizó un análisis microbiológico para determinar existencia de bacterias que puedan incidir en la generación de drenaje ácido de mina, el análisis se realizó en el sector del río Alumbre y puntos específicos del proyecto, mediante el medio de cultivo 9k de Silverman se realizó por inoculación del agua de estudio, posteriormente en un periodo de 40 días se realizo mediciones de pH y se observo cambios de coloracion en ciertas muestras donde , se obtuvo resultados positivos de presencia de bacterias potencialmente acidófilas en un sector del río Alumbre.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Geoquímica

La Geoquímica estudia el origen, distribución y evolución de los elementos químicos en la Tierra que se encuentran formando las rocas (y sus derivados) seres vivos, el agua y la atmósfera; teniendo así como objetivo determinar la abundancia de los elementos en la naturaleza para desarrollar hipótesis sobre el origen y la estructura de nuestro planeta y del universo. (SGM, 2000)

(Gibson, 1949) Fundamentó cuatro principios de la geoquímica:

1. Contenidos de los elementos en la Tierra.
2. Migración y distribución de los elementos en los minerales, en las rocas y en las diferentes capas de la Tierra, en el espacio y tiempo.
3. Establecimiento de los principios y normas que rigen la cantidad y distribución de los elementos individualmente.
4. Dinámica de la distribución de los isótopos; mineralización y clase de alteración.

El uso de la geoquímica en la minería ha desarrollado los siguientes fundamentos básicos:

- Descubrimiento de yacimientos en áreas vírgenes.
- Definición y delimitación de cinturones mineralizados y/o provincias metalogénicas.
- Búsqueda de metales en diferentes partes aledañas a un depósito conocido, definiendo su extinción, repetición y nuevos cuerpos de mineral.

1.2 Metales pesados

Los metales pesados hacen referencia a los elementos químicos que tengan una alta densidad y sea tóxico o venenoso inclusive en concentraciones muy bajas, estos pueden ser el mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio y plomo (González, 2009)

A los metales pesados se les puede definir de dos maneras:

- Peso atómico: este elemento químico puede estar comprendido entre Cu (63,55) y Hg (200,59).
- Densidad: estos pueden estar entre 4 g/cm³ hasta 7 g/cm³.

Estos metales se encuentran como componentes naturales de la corteza terrestre en forma de minerales, sales u otros compuestos, no pueden ser destruidos o degradados de forma natural o biológica; también pueden ser de origen antropogénico, estos se derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola y residuos sólidos urbanos (Baena, 2008).

Algunos metales como cobre, selenio, zinc son esenciales para mantener un buen metabolismo en los seres vivos sin embargo en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento, pudiendo darse por contaminación del agua, concentraciones en el aire o por la vía de la cadena alimenticia (González, 2009)

A continuación se detallara brevemente los metales que se van a tratar en este trabajo.

1.2.1 Zinc

El Zinc se encuentra en la familia número II B, su símbolo es Zn, tiene un número atómico 30 y peso atómico de 65,37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se estima que el Zinc está presente en la corteza terrestre en un 0,0005-0,002% ocupando el puesto 23º en elemento más abundante de la Tierra; es clasificado como un metal, una de sus aplicaciones más importantes es el galvanizado del acero, el único estado de oxidación que presenta es el +2. (EcuRed, 2000)

1.2.2 Cadmio

El Cadmio es un elemento químico de número atómico 48 situado en el grupo IIB por debajo del Zinc, su símbolo es Cd, no se encuentra en la naturaleza en estado puro sino por afinidad química, está asociado con metales como el Zinc, Plomo y Cobre, puede encontrarse en el aire, suelo, agua; es muy dúctil por lo que es muy adecuado para aleaciones metálicas. La mayor cantidad de cadmio se puede encontrar en la esfalerita, se encuentra asociado al zinc; el mayor uso de este metal es para la fabricación de baterías recargables y las sales del cadmio para la fotografía, fuegos artificiales, pintura fluorescente, vidrios y porcelana. (EcuRed, 2000)

1.2.3 Mercurio

El Mercurio se encuentra en la familia IIB, tiene el símbolo Hg con número atómico de 80, peso atómico de 200,50 (g/mol. Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente, puede formar amalgamaciones con algunos metales como por ejemplo: oro, plata platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio, en sus compuestos se encuentra en estados de oxidación 2+,1+. El mercurio se encuentra como sulfuro Hg, con

frecuencia como rojo de cinabrio y con menos abundancia como metal cinabrio negro; es usado en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, tacómetros, barómetros y termostatos. (EcuRed, 2000)

1.2.4 Plomo

El elemento químico plomo lleva como símbolo Pb, con un número atómico de 82 y peso atómico de 207,19 y actúa con valencia +2,+4; tiene un color gris-azulado que existe en pequeñas cantidades en la corteza terrestre y está asociado al zinc. Se puede encontrar en yacimientos formados de rocas ígneas generalmente en calizas y dolomitas, los minerales de este tipo pueden contener galena, esfalerita y pirita; se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal y en láminas de protección contra los rayos X. El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. (EcuRed, 2000)

1.2.5 Arsénico

El arsénico cuyo símbolo químico es el As tiene un número atómico de 33 y un peso de 74,922 este elemento es uno de los más distribuidos en la naturaleza es uno de los pocos minerales disponibles con un 99,9999+ % de pureza (Lenntech B.V, 1998) A este metal se lo encuentra por lo general en la superficie de las rocas combinado con azufre, manganeso, hierro, cobalto, níquel, plata o estaño; el uso en estado sólido se ha utilizado para materiales de láser y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos, el óxido de estaño se utiliza en la elaboración de vidrio. (EcuRed, 2000)

1.3 Espectrometría de absorción atómica

La espectrometría de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra ya sea de agua o de sedimentos, fluidos como la sangre, alimentos y productos en las industrias farmacéuticas; se puede analizar a concentración de más de 62 metales diferentes en una solución (Pérez, 2005)

Para el desarrollo de la absorción atómica existen cuatro técnicas fundamentales que podemos utilizar y son:

- Llama: es el método más utilizado y puede llegar a una temperatura de 1500 ° C a 2000 ° C.

- Horno de Grafito: es fundamental para determinar mínimas cantidades su temperatura puede llegar hasta 2500 ° C a 3000 ° C.
- Generador de Hidruros: en este método ya no interviene la temperatura, se utiliza un reactivo a la muestra a una temperatura ambiente.
- Fuentes de radiación: son capaces de proporcionar una radiación electromagnética de una amplitud de banda muy pequeña.

(Garro, 2016)

1.3.1 Espectrometría de absorción atómica mediante horno de grafito

Generalmente se utiliza este método cuando las concentraciones que deseamos detectar son muy bajas.

Este método se trata básicamente de la absorción de luz de un elemento en estado atómico, de ahí cada elemento tiene su propia longitud de onda por la cual la luz es absorbida. El resultado es medido, es decir la atenuación de la luz, siendo la cantidad de radiación absorbida proporcional a la cantidad de átomos del elemento presente.

Este método tiene dos procesos:

- Atomización de la muestra
- Absorción de radiación proveniente de una fuente por los átomos libres.

El tratamiento de la muestra hasta la atomización comprende las siguientes etapas:

- Secado: una vez que la muestra se encuentre en el tubo de grafito se calienta a una temperatura entre 80°C a 180°C. El objetivo de esta etapa es la evaporación del solvente.
- Calcinado: en este paso se realiza el incremento de la temperatura usando un rango entre 350°C a 1600°C. Aquí los materiales sólidos se descomponen y los materiales refractarios permanece inalterados.
- Atomización: en esta etapa el horno llega a temperaturas de 1800°C a 2800°C para vaporizar los residuos del paso del calcinado. Durante este proceso se crean los átomos libres y se mide la absorbancia
- Generalmente se crea una cuarta etapa para limpieza del horno a una temperatura superior a la temperatura de atomización.

(Nelly Mañay, 2001)

1.3.1.1 Precauciones de seguridad al momento de usar la máquina

- Usar guantes de látex para el manejo de las muestras, lentes de seguridad y mandil
- La manipulación de ácidos concentrados debe realizarse bajo una campana de extracción de gases, considerando todas las medidas de seguridad para su uso.
- Se debe realizar una buena higiene de manos luego de manipular todas las soluciones.

(Nelly Mañay, 2001)

1.4 Polarimetría

La polarimetría es una técnica que consiste en medir la actividad óptica de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, puede darse en sólidos, líquidos y soluciones.

Este método es una forma simple y precisa para la determinación e investigación de estructuras en macro, semi-micro y micro análisis de compuestos cuyo coste económico o cuya dificultad para duplicarse es alta.

Esta técnica consiste en medir la rotación óptica producida sobre un haz de luz polarizada al pasar por una sustancia ópticamente activa.

La actividad óptica rotatoria de una sustancia tiene origen en la asimetría estructural de las moléculas (Angelis, 2005).

1.4.1 Principios de la polarimetría

Luz polarizada: esta luz se obtiene cuando la radiación vibra en un solo plano con respecto al haz de la trayectoria. La vibración se da en un solo plano en el espacio. La luz polarizada se obtiene por reflexión y por refracción (Suárez I. F., 2013)

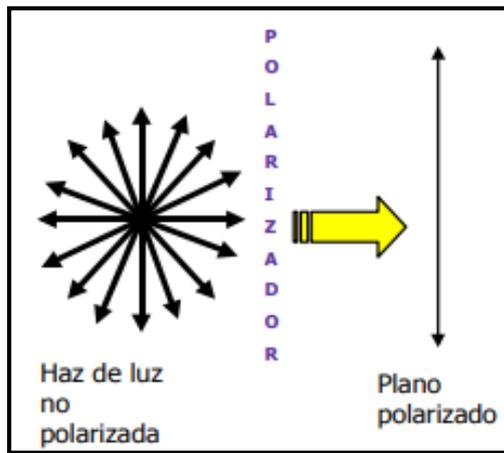


Figura 1.1 Polarización

Fuente: (Suárez I. F., 2013)

Actividad óptica: medida de la capacidad en ciertas sustancias donde se hace girar una luz polarizada plana.

En el polarímetro se trabaja con sustancias ópticamente activas que se clasifican en:

- **Dextrógiras:** desvían la luz hacia la derecha
- **Levógiras:** desvían la luz hacia la izquierda

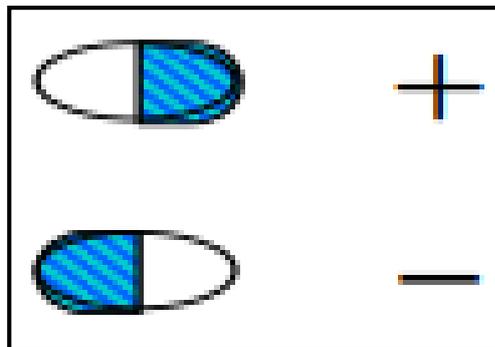


Figura 1.2 Actividad óptica

Fuente: (Suárez I. F., 2013)

1.5 Absorción atómica por vapor frío

Si bien se sabe este método es un derivado de la absorción atómica, por lo que se usa este proceso para cuantificar la cantidad de energía en forma de fotones de radiación, absorbidos por una muestra.

El interés de este método es el monto de radiación que es absorbida, a la longitud de onda resonante, cuando esta radiación pasa a través de una nube atómica.

La radiación aumenta según el número de átomos, según la cantidad absorbida se incrementará de manera proporcional (García G. C., 2010).

1.5.1 Descripción del método absorción atómica por vapor de frío

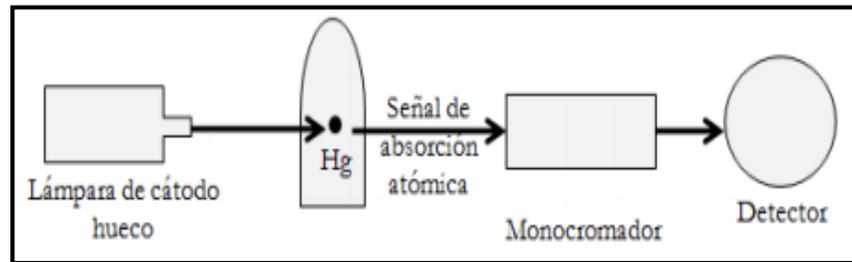


Figura 1.3 Esquema de absorción atómica

Fuente: (García G. C., 2010)

La determinación cuantitativa específica de elementos individuales en presencia de otros se da por la medición de la longitud de onda, en el caso del mercurio dicha longitud de onda corresponde a 253,7 nm.

- La lámpara de cátodo hueco es un cilindro hueco
- El ánodo y el cátodo se encuentran en un cilindro de vidrio cerrado y lleno de argón o neón.
- Un extremo del cilindro se encuentra fundido junto a una ventana transparente a la radiación emitida.
- Los iones cargados positivamente se aceleran a través del campo eléctrico y colisionan con el cátodo cargado negativamente, desalojando átomos metálicos individuales del mismo proceso.
- Para la medición de la radiación específica se necesitan dos componentes, un monocromador y un detector. El primero puede dispersar las distintas longitudes de onda de la radiación que es emitida de la fuente y separa la línea particular que se emplea para medir cierto elemento en presencia de otros.
- Una vez aislada la longitud de onda por el monocromador el detector, recibe esta radiación. Este segundo componente es un tubo fotomultiplicador, que produce una corriente eléctrica que depende de la intensidad de la radiación

incidente. Finalmente esta corriente será amplificada y procesada por componentes electrónicos (García G. C., 2010)

1.6 Geoestadística

Para realizar la Geoestadística debe ser con un conjunto de datos fijos y continuos; podría ser valores de precipitación de agua, niveles de contaminación, contenidos auríferos de una mina, etc.; se puede seleccionar puntos del espacio a criterio del investigador o puede seleccionar los sitios bajo algún esquema de muestreo probabilístico (Henaó, 2000).

Por lo tanto la Geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales (Huijbregts, 1978) cuyo interés es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos. Según (Petitgas, 1996) define como una aplicación de la teoría de probabilidades a la estimación estadística de variables espaciales.

La Geoestadística se aplica en dos etapas:

- Análisis Estructural: modelo elegido para interpretar los datos.
- Utilizar el modelo para derivar las estimaciones: durante esta etapa el investigador caracteriza la variable observada en base a las propiedades de los datos (Petitgas, 1996).

1.7 Sistemas de información geográfica

Es un software completo también llamado ArcGis que sirve para organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. En este programa se puede realizar cualquier tarea SIG: creación, edición, análisis y representación de información geográfica, el trabajo que se realice se puede realizar en dos tipos de formatos raster (archivo de imagen) y vectorial (cobertura).

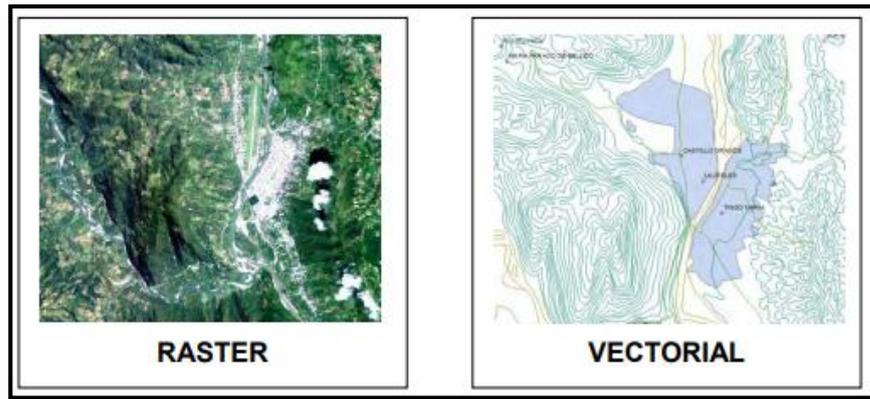


Figura 1.4 Tipos de Sistemas de Información Geográfica

Fuente: (Puerta & Bravo, 2011)

Formato Raster: Se captura información mediante los medios de scanner, satélite, fotografías aéreas, cámaras de video entre otros. Son fotografías capturadas por satélite o información digital de un mapa. Este modelo está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio; como la pendiente del terreno, altitud o precipitación. El modelo raster también es llamado imagen.

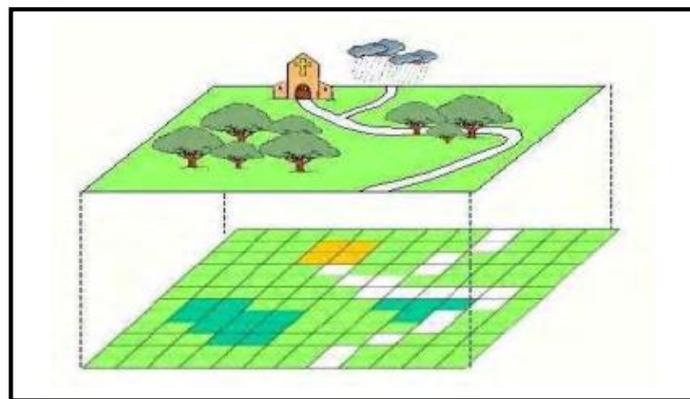


Figura 1.5 Ejemplo formato raster

Fuente: (Puerta & Bravo, 2011)

Formato Vectorial: El formato vectorial (shape) puede ser creado a partir de fuentes de información espacial existente, o pueden ser generados desde ArcGis, donde podemos añadir elementos. La composición de una cobertura vectorial en ArcGis consta de tres o más archivos en el mismo nombre, pero con extensiones diferentes como por ejemplo:

La cobertura Brunas (shape), este tipo de datos tiene una gran rapidez en despliegue y visualización, además que pueden ser modificados, los objetos de una cobertura vectorial pueden estar representados por puntos, líneas y polígonos.



BRUNAS.dbf (Tabla de atributos)



BRUNAS (Datos espaciales – geometría)



BRUNAS (Índice de los datos espaciales)

Fuente: (Puerta & Bravo, 2011)

En resumen se dice que es un sistema de información geográfica, el cual posee una interface gráfica de usuario, de manejo sencillo con el ratón, posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabular para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos; también provee herramientas necesaria para consultar, analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación (Puerta & Bravo, 2011)

1.7.1 Kriging

Es un método Geoestadística de interpolación que ha probado ser útil y popular en muchos campos, especialmente para el área minera es fundamental.

El término Kriging ha sido designado para llamarlo “mejor estimador lineal insesgado” (el valor esperado del error es cero), siendo así óptimo ya que garantiza la mínima varianza de la estimación. (Dr.Martín Díaz, 2009)

Existen varios métodos de predicción espacial como distancia inversa, interpolación polinomial global, interpolación polinomial local, triangulación lineal, funciones de base radial pero la ventaja de Kriging es la estimación de la varianza del error de predicción, lo cual permite estimar intervalos de confianza para dicha predicción y además de lo que se ha dicho ya que este método da el mejor estimador lineal insesgado. (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

1.8 Factores que dependen la precisión del método

- Número de muestras tomadas
- La calidad de la medición en cada punto
- La ubicación de las muestras en la zona: si las muestras son igualmente espaciadas tienen una mejor cobertura dando mejor información acerca de la zona a diferencia de aquellas muestras que estén muy agrupada en unos sectores y separadas en otros.
- Distancia entre muestras: para la predicción es más confiable usar muestras vecinas que muestras distantes, esto es, la precisión mejora cuando la cercanía de las muestras aumenta, y se deteriora cuando esta disminuye.
- La continuidad espacial de la variable o atributo en estudio: es más fácil estimar el valor de una variable bastante regular en una región que una que presenta grandes fluctuaciones (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

1.8.1 Tipos de Kriging

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	*Simple *Ordinario *Universal	*Son óptimos si hay normalidad multivariada * Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
NO LINEAL	*Indicador * Probabilístico * Log Normal, Trans - Gaussiano * Disyuntivo	* Son predictores óptimos

Tabla 1.1 Tipos de kriging

Fuente: (Henao, 2000)

Kriging simple: para este tipo de kriging se conoce tanto la media como la covarianza del proceso (es preciso estimarlos a partir de los datos de muestra). El estimador de kriging simple es ortogonal al error; esta propiedad es muy importante a que solo satisface a este tipo de kriging (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), 2017).

Kriging ordinario: tiene un valor esperado estacionario pero desconocido, el valor esperado de la función aleatoria debe ser constante y conoce a función de covarianzas o el semivariograma de la función aleatoria. (Dr.Martín Díaz, 2009)

Kriging universal: en este kriging se debe conocer la forma de la tendencia expresada usualmente mediante polinomios, conocer la función de covarianzas o el semivariograma de la función aleatoria sin tendencia. La obtención de los pesos se hace de tal forma que a varianza del error de predicción sea mínima. (Henaó, 2000)

1.9 Origin graphing & analysis

Origin es un software completo de análisis de datos y gráficos que proporciona un conjunto de características que satisfacen las necesidades de científicos e ingenieros; su principal función es analizar absolutamente cualquier gráfica que se introduzca en el sistema incluyendo también análisis de curvas y de señales que puedan aparecer en las representaciones de los datos (Origin 2019, 2017).

1.9.1 Parámetros que se obtienen para el análisis geoestadístico

Distribución normal: también llamada campana de Gauss donde las desviaciones estándar sucesivas con respecto a la media establecen valores de referencia para estimar el porcentaje de observaciones de los datos. Sus medidas de tendencia central media, mediana y moda son todas idénticas (gestiopolis, 2000).

Media: es la suma de los datos dividida entre el número total de los datos.

Mediana: consiste en ordenar los valores de menor a mayor y escoger el valor central.

Moda: es el valor que más se repite en un grupo de números.

Desviación estándar: esta mide cuánto se separan los datos.

Varianza: es la media de la diferencia con la media elevada al cuadrado.

Mínimo: se define de mínimo a menor en los elementos de un cierto conjunto.

Máximo: de un conjunto de elementos se define el mayor valor presente.

Cuartil: son valores que dividen a la muestra de datos en cuatro partes iguales.

Cuartil	DESCRIPCIÓN
1 ^{er} cuartil (Q1)	25% de los datos es menor que o igual a este valor.
2 ^{do} cuartil (Q2)	La mediana. 50% de los datos es menor que o igual a este valor.
3 ^{er} cuartil (Q3)	75% de los datos es menor que o igual este valor.
Rango intercuartil	La distancia entre el 1er cuartil y el 3er cuartil (Q3-Q1); de esta manera, abarca el 50% central de los datos.

Tabla 1.2 Tipos de cuartil

Fuente: (Boxplot, 2015)

Histograma: es una gráfica de la distribución en un conjunto de datos con forma de barras, cada barra representa un subconjunto de los datos. Este muestra la acumulación o tendencia, la variabilidad o dispersión y la forma de la distribución.

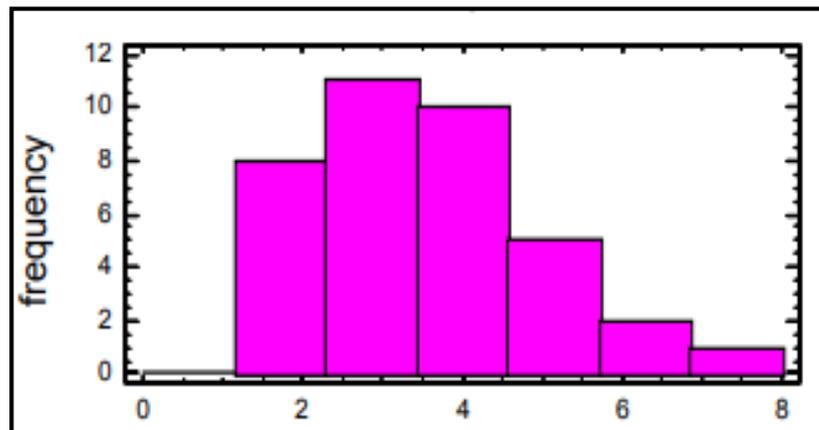


Figura 1.6 Histograma

Fuente: (García C. G., 2008)

En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables, normalmente señalando las marcas de clase, es decir, la mitad de intervalo en el que se están agrupados los datos.

El histograma se utiliza cuando se estudia una variable continua, como franjas de edades o altura de muestras, y por comodidad sus valores se agrupan en clases; es decir, valores continuos (Universidad Nacional Autónoma de México, 2000).

Diagrama de caja (box- plot): es una forma de presentación estadística destinada a resaltar aspectos de la distribución en las observaciones de una o más series de datos cuantitativos. Permite resumir, describir y analizar aspectos generales y particulares del indicador. En el quedan ilustrados los datos centrales, datos adyacentes, atípicos y extremos si los hubiera (Doncel, 2015).

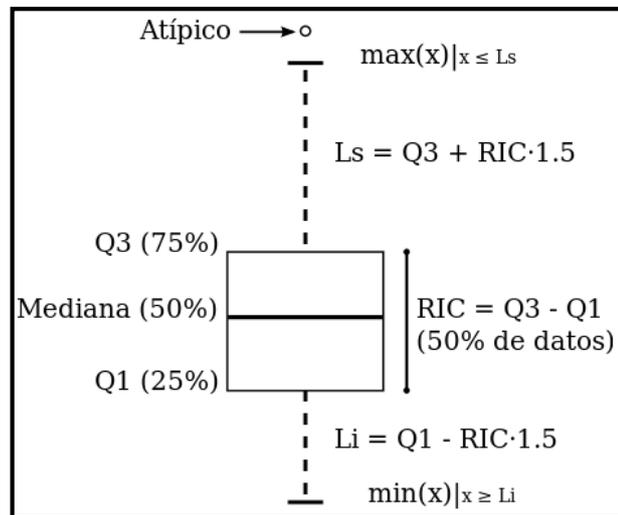


Figura 1.7 Partes del diagrama de caja (box plot)

Fuente: (Análisis de Datos, 2015)

Como se puede observar en el gráfico el diagrama está compuesto por las siguientes partes:

Mediana: valor que deja a la mitad de los casos por encima y a la otra mitad por debajo.

Primer cuartil (Q1): el 25% de los casos se encuentran por debajo de este valor.

Tercer cuartil (Q3): el 75% de los casos se encuentran por encima de este valor.

Rango intercuartílico (RIC): es la diferencia entre el tercer y el primer cuartil.

Límites superior o inferior (Ls o Li): Ls contiene los casos por encima de Q3 más 1,5 veces el rango intercuartílico o Li por debajo de Q1- 1,5 * RIC. Cuando los valores no son posibles en lugar de emplear la aproximación anterior se escogen los valores máximo o mínimo de la muestra.

Valores atípicos: son aquellos que están más allá de los límites inferior y superior. Cuando los valores atípicos están más allá de tres veces del RIC en lugar de 1,5 son denominados valores extremos (Rodríguez, 2015)

1.10 Diagramas de Pourbaix

El diagrama de Pourbaix también conocido como diagrama de potencial eléctrico - pH representa la estabilidad y sus productos de corrosión de un metal en función del potencial eléctrico y del pH en forma gráfica. Estos diagramas se construyen a partir de cálculos termodinámicos basados en la ecuación de Nernst y los datos de solubilidad de diversos compuestos metálicos mostrando así las siguientes tres zonas:

- Zona de inmunidad: el metal permanece en forma metálica
- Zona de corrosión: el metal pasa a una forma iónica
- Zona pasiva: el metal forma capas de productos con el oxígeno y el hidrógeno, que podrían inhibir el proceso corrosivo

Estos diagramas han demostrado ser útiles para fines metalúrgicos, para predecir especies en soluciones, para productos de alteración de minerales y en sistemas hidrotermales y en muchos otros. (Brookins, 1988)

1.10.1 Descripción de Diagrama de Pourbaix

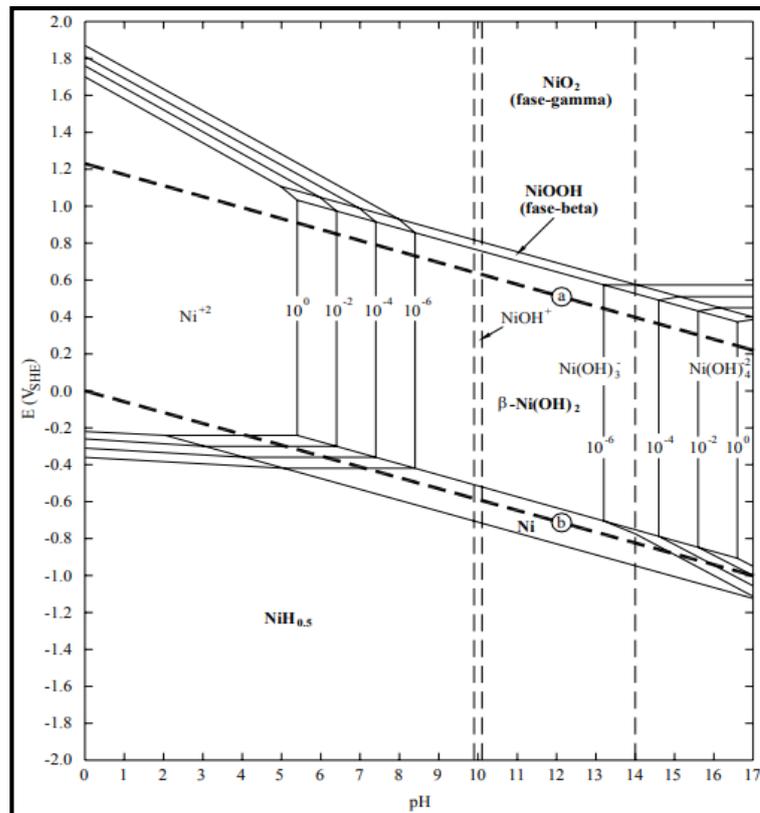


Figura 1.8 Diagrama de Pourbaix

Fuente: (Portero, Universidad Politecnica de Valencia, 2005)

En el diagrama de Pourbaix el potencial se encuentra en la ordenada y en la abscisa el pH; esto se utiliza para metales bajo condiciones termodinámicas standard, este consta de tres formas de líneas:

- **Líneas horizontales:** indican reacciones con dependencia solamente del potencial.
- **Líneas verticales:** indican reacciones con dependencia solamente del pH.
- **Líneas oblicuas:** indican reacciones con dependencia tanto potencial como pH.

Tipos de trazado de línea:

- **Línea continua fina:** esta línea indica un equilibrio bien entre dos especies sólidas o bien entre una especie sólida y una especie soluble con distintos valores de actividad (10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} y 10^0).
- **Línea discontinua fina:** indican un equilibrio entre dos especies solubles.
- **Línea discontinua gruesa:** señaladas como “a” y “b”, que representan el equilibrio de descomposición del agua con desprendimiento de oxígeno e hidrógeno, respectivamente. La región entre estas dos líneas representa una zona donde el agua es estable con respecto al oxígeno y al hidrógeno.
- **Línea a:** condiciones oxidantes, el agua se descompone por desprenderse oxígeno en forma de gas.
- **Línea b:** condiciones reductoras, el agua se descompone por desaparecer los protones en forma de hidrógeno gaseoso.

1.11 Drenaje ácido de roca (DAR)

El DAR se refiere a la acidificación de las aguas naturales como consecuencia de la descomposición por oxidación de rocas que contienen minerales metálicos ricos en azufre o sulfuros. Estos tienden a oxidarse al estar expuestos a los agentes naturales como el agua y el aire. Durante el proceso de oxidación del mineral, se libera azufre, el cual se combina con el agua y el oxígeno del aire para formar ácido sulfúrico. (Suárez P. R., 2015)

Al mismo tiempo, se liberan metales, los cuales pueden incorporarse al agua. Esto genera aguas ácidas las cuales afectan las rocas y estructuras civiles, estas aguas son

clasificadas según su acidez. (Grandia, 2009). Las aguas que están afectadas por este fenómeno DAR por lo general presentan un pH bajo y alto contenido de sales como de metales. Este se desarrolla a través del tiempo, con cambios en la química del agua que refleja la mineralogía y la cantidad de minerales sulfurosos, alcalinos, así como la velocidad y magnitud de la oxidación y neutralización. (Suárez P. R., 2015)

1.11.1 Clasificación del agua según su acidez

Clasificación	pH
Altamente ácidas	1,5 - 4,5
Blandas ácidas	3,5 - 5,5
Blandas a ligeramente ácidas	5,0 - 7,0
Duras a neutras alcalinas	7,0 - 8,5
Blandas a alcalinas	7,5 - 11,0
Muy salina	6,0 - 9,0

Tabla 1.3 Clasificación de aguas según su acidez

Fuente: (Paulo Ruiz, 2015)

1.12 Definición de pH

El Potencial de Hidrógeno con abreviatura pH es un parámetro para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias y corresponde al logaritmo negativo de base 10 de la concentración de iones hidronio (H_3O^+). Se definió que “p” al logaritmo negativo de base 10 de una medida, para simplificar los cálculos evitando el manejo de cifras largas y complejas. (Arroyo, 2011)

1.12.1 Escala del pH

El rango del pH va de 0 a 14. Se puede observar que de 0 a 7 es una sustancia ácida y de 7 a 14 es una sustancia alcalina. En la actualidad para medir de un forma rápida se utilizan unas tirillas que al momento de introducir en el líquido estas tomas en color correspondiente sin embargo existen equipos profesionales que marcan exactamente el valor del pH (Luque, 2001).

El pH ácido tiene las siguientes propiedades:

- Reacciona con las bases alcalinas
- Los sabores de estas sustancias son agrios como el vinagre o la aspirina
- A la electricidad le conducen en disolución
- Pueden ocasionar quemaduras en la piel

Reaccionan con los óxidos metálicos El pH alcalino se o puede reconocer por las siguientes propiedades:

- Se puede utilizar en jabones ya que disuelve la grasa, pero puede irritar la piel si existe un pH elevado
- Son conductores eléctricos
- Se disuelven en el agua
- El amoníaco, lejía, hidróxido de sodio son algunos ejemplos de bases alcalinas

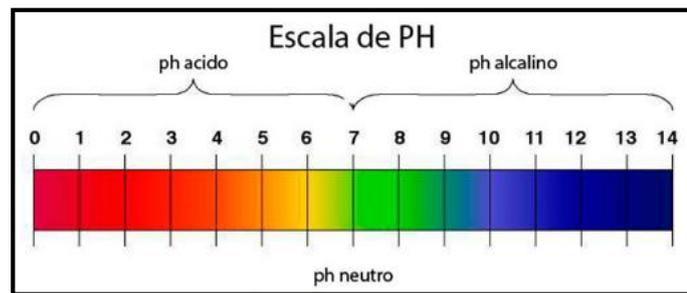


Figura 1.9 Escala del pH

Fuente: (Luque, 2001)

1.13 Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares procariotas y por lo tanto no tienen núcleo ni orgánulos internos, muchas bacterias tienen flagelos o disponen de otros sistemas de desplazamiento y son móviles, se puede encontrar de varias formas como esferas, barras y hélices su tamaño se encuentra entre 0,5 y 5 μm generalmente poseen una pared celular compuesta de peptidoglucanos; estos son los organismos más abundantes del planeta pueden crecer en el suelo, manantiales calientes y ácidos, en desechos radioactivos, en las profundidades del mar y de la corteza terrestre, pueden llegar a sobrevivir en condiciones extremas del espacio exterior.

Para que las bacterias crezcan deben tener buenos nutrientes y así durante un periodo se adaptan a dicho ambiente luego conlleva a un crecimiento muy lento llegando a la fase exponencial teniendo una tasa de crecimiento muy veloz terminando en la última fase estacionaria donde se terminan los nutrientes y se activa la expresión de genes involucrados en la reparación del ADN, en el metabolismo antioxidante y en el transporte de nutrientes.

(Biología, 2008).

1.13.1 Bacteria *Thiobacillus Ferrooxidans*

Esta bacteria es autotrófica gramnegativa en forma de bastón, altamente acidófila que obtiene su energía a través de la oxidación del hierro ferroso o de compuestos reducidos de azufre inorgánico, esta energía se utiliza en la fijación del CO₂ y en otras funciones intermedias del metabolismo, el tamaño de esta bacteria es de aproximadamente de 1-2 µm de largo y de 0,5 µm de diámetro; es capaz de sobrevivir a altas concentraciones de metales pesados es muy tóxico para otras bacterias; esta bacteria es una de las principales en generar los drenajes ácidos de mina y es muy útil para los procesos industriales de biolixiviación de metales como el oro, cobre y uranio (University of Cape Town South Africa, 1994)

Características:

- **pH:** Se desarrolla en pH ácidos siendo lo óptimo un rango de 1,5 a 2,5
- **O₂:** es un microorganismo aeróbico estricto.
- **CO₂:** esta es su fuente de carbono debido a que es un organismo autótrofo.
- **Fuentes de energía:** iones ferrosos y azufre inorgánico
- **Otros nutrientes:** Nitrógeno, Fósforo, Azufre e iones metálicos.
- **Luz:** no es necesaria la luz.
- **Temperatura:** puede estar en temperaturas entre 25°C y 35°C.

(El Microorganismo, 2011)

1.13.2 Medio de cultivo

El desarrollo de un cultivo es necesario para identificar el tipo o a presencia de microorganismos, hay una gran cantidad de pruebas que permiten establecer a que especies pertenecen o en sí su existencia. Estas pruebas consisten en la determinación de la fuente de energía, pH óptimo, temperatura, signos morfológicos, pruebas bioquímicas, etc.

Los medios de cultivo pueden clasificarse en:

- **Medios líquidos:** son utilizados para el crecimiento de lotes de cultivos puros.
- **Medio sólido:** son ampliamente utilizados para el aislamiento de cultivos puros.
- **Medio semisólido o agar:** es un hidrocoloide derivado de las algas rojas, es utilizado por sus propiedades físicas únicas.

1.13.2.1 Medio de cultivo 9k de Silverman

El medio 9K de Silverman ha sido fundamento para la preparación de los cultivos líquidos; utilizando las sales ferrosas de 9k, o bien sustituyéndolas por otra fuente de energía, como el azufre o piritita.

Tabla de cultivo de Silverman 9k, composición por litro

Medio de cultivo 9k de Silverman	
Compuesto	Cantidad
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,6 g
KCL	0,02 g
K HPO ₄	0,1 g
MgSO ₄ + 7H ₂ O	0,1 g
Ca(NO ₃) ₂	0,02 g
FeSO ₄	8,84 g
H ₂ SO ₄	0,2 ml
Agua Destilada	200ml

Tabla 1.4 Medio de cultivo de Silverman

Fuente: (Merino & R.M.Sáenz, 1973)

CAPÍTULO 2

ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación de la zona de estudio

El proyecto minero “Loma Larga” se encuentra ubicado al sur del país en la provincia del Azuay entre los cantones Cuenca, San Fernando y Girón; consta de tres concesiones mineras Cerro Casco, Río Falso y Cristal, abarcando así un total de 7960 ha.

El acceso hacia el proyecto desde la ciudad de Cuenca se lo realiza de la siguiente manera:

- 40 km por la vía de primer orden Cuenca- Girón-Pasaje.
- 11 km por la vía que conecta Girón – San Fernando.
- 18 km de San Fernando hasta campamento base, vía de tercer orden.

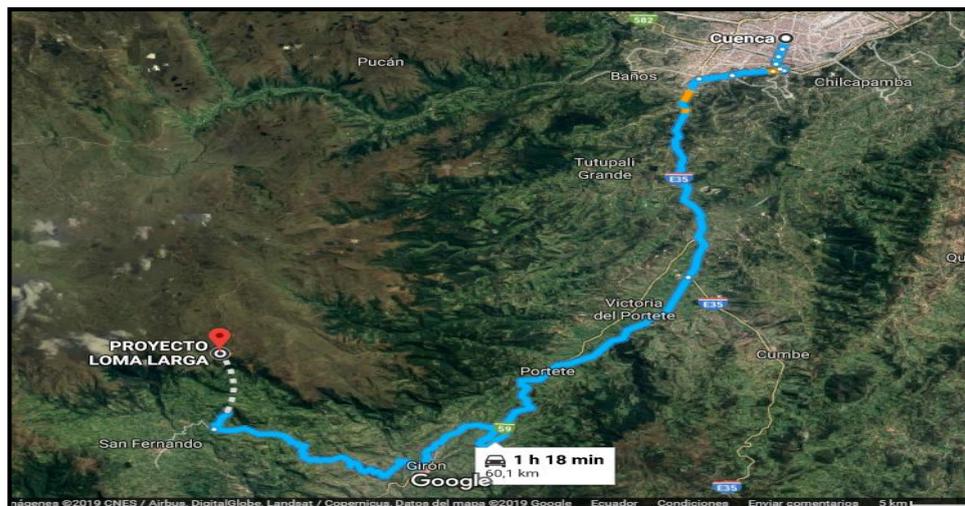


Figura 2.1 Vías de acceso hacia el Proyecto Loma Larga

Fuente: (Google maps, 2019)

2.2 Caracterización del ecosistema

2.2.1 Clima

Por ser una zona de páramo predominan las lloviznas, lluvias con presencia de granizadas y heladas; registrándose unas temperaturas de 2.2° C como la más baja, como temperatura media 8.4°C y de 17.1°C como temperatura máxima. Se han registrado que los meses de noviembre y diciembre son los

más calurosos con 9.3°C y 9.21°C respectivamente y los meses de septiembre con 1°C y julio con 1.4°C son los más fríos, entre las 12:00 y las 15:00 a temperatura alcanza su valor máximo y entre las 3:00 y las 6:00 son temperaturas mínimas. El año con mayor precipitación fue en 1975 con 1525mm y el año con menor precipitación fue en 1996 con 984mm, entre los años 2006 y 2008 la precipitación anual media fue de 1077mm; en la zona de proyecto no existen meses secos por lo que en marzo y noviembre se da las lluvias más fuertes (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

Durante el 2009-2010 se realizó en Loma Larga un registro de las características de la velocidad de viento y estos oscilaron entre 2.50 m/s y 5.75 m/s siendo en julio y septiembre los meses con mayor velocidad, el viento tiene una dirección dominante desde el Oeste (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

Con respecto a la nubosidad se expresa por la superficie que ocupan las nubes sobre la línea del horizonte y se lee en octavos por lo que se tiene que los meses de junio, septiembre, noviembre y diciembre son los más despejados con 3/8, el promedio a lo largo del año es de 7/8 (bastante nublado) y la nubosidad anual mínima es de 4/8 en especial al medio día (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006).



Figura 2.2 Símbolos de la nubosidad

Fuente: (masmar, 2013)



Figura 2.3 Clima del proyecto minero Loma Larga

Créditos: Karina Vintimilla



Figura 2.4 Nubosidad del proyecto minero Loma Larga

Créditos: David Quezada

2.2.2 Vegetación

El ecosistema donde se encuentra el proyecto es el páramo donde prima el 95% de pajonales y más o menos 480 especies de plantas vasculares, en algunos lugares existen bosques formados por quinuas también se cuenta con la presencia de pinos al Norte de Cerro Casco (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006).

Existen orquídeas y bromelias también una diversidad de 67 especies de plantas entre la más diversa esta la Asteraceae con especies como quínoa, chilca, alas de ángel, quishuar y alisos (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006).

Actualmente INV Metals mantiene un vivero del Proyecto para mantener y producir las especies nativas.



Figura 2.5 Vegetación del proyecto minero Loma Larga

Créditos: David Quezada, Karina Vintimilla



Figura 2.6 Halenia serpyllifolia

Créditos: David Quezada, Karina Vintimilla

2.2.3 Fauna

Se han identificado 29 especies de mamíferos como conejos silvestres, lobo de páramo, venados de colas blancas, sachacuy, dos especies de ratones; con respecto a las aves se encuentra el gavián gris, cóndor, quilico, azulejo, pato silvestre, golondrinas y con respecto a los animales acuáticos la trucha y la trucha arco iris que es muy común; en relación con los anfibios se encuentra los sapos y jambato (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006).



Figura 2.7 Gorrión en el proyecto minero Loma Larga

Créditos: Karina Vintimilla

2.3 Geología regional

La geología del Ecuador es muy dinámica ya que está marcada por grandes terremotos y episodios volcánicos; la Placa Oceánica de Nazca se sumerge debajo de la placa continental de Sur América, la colisión de estas dos placas causó el levantamiento de los Andes Ecuatorianos y la fusión del manto que se encuentra por debajo del continente. (Jean-Yves Collot, 2009)

La región Sierra fue uno de los primeros para la formación de la Sierra Andina en la era Paleozoica hace unos 230 millones de años. El levantamiento de esta cordillera produce la división de las cuencas del occidente (ante-arco) y del oriente (tras-arco). La Sierra se divide en dos cadenas montañosas geológicamente distintas que son:

- **Cordillera occidental:** (al este) que consta de un basamento comparable a la costa, sobrepuesto por formaciones esencialmente volcánicas del arco Oligoceno-Actual.
- **Cordillera real:** (al oeste) tiene un basamento de formaciones metamórficas de edad pre-cretácica. Sobre esas rocas se localizan formaciones volcánicas post-miocénicas de arco-volcánico. Consiste mayormente en cinturones sub-lineares de rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico.

Entre estas dos cordilleras (Occidental y Real), se ha desarrollado un sistema de valles que generalmente corre en dirección norte-sur y se describen como valles ínter-montañosas (ATLAS GEOLÓGICO MINERO DE ECUADOR, 2017).

El proyecto “Loma Larga” está definido por la Cordillera Occidental, tiene fallas regionales y cabalgamientos; el rasgo regional predominante es el terreno continental Chaucha está constituido por un mélange de rocas metamórficas (Peltetec-Palenque) que constituye a continuación hacia el norte del Complejo Metamórfico del Oro del Paleozoico al Cretácico y forma el basamento de gran parte de área, ampliamente oculto por volcanitas más jóvenes al noreste de la Falla Jubones (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006).

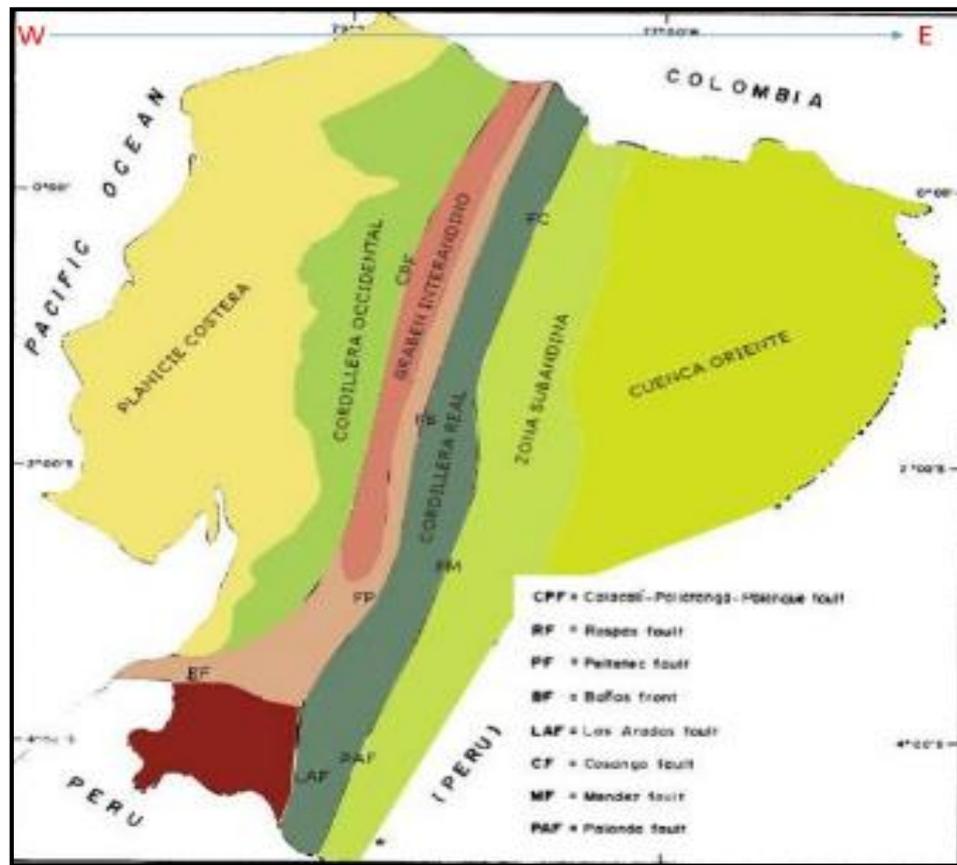


Figura 2.8 Geología de Ecuador

Fuente: (Romero, 2016)

2.3.1 Formación Turi (M_T)

La formación Turi se encuentra al norte del Sistema de fallas Girón y al este del Cinturón Gañarín. Las principales litologías son brechas tobáceas, conglomerados, areniscas ricas en “debris” andesíticos y unas pocas brechas tobáceas primarias de composición andesítica. La geometría del afloramiento es

radial con buzamientos suaves hacia el sur y el este desde la caldera Quimsacocha. Forma riscos al NE de Girón y en la Cordillera de San Firón y el páramo en Ucshapucará, aunque previamente fue considerada de edad Pleistoceno se demuestra una edad del Mioceno Tardío (8-9 Ma) (Erazo M. , 1957)

2.3.2 Formación Turupamba (M_{TU})

Esta formación aflora en el páramo al oeste de San Fernando y está compuesta principalmente por tobas riolíticas a dacíticas con cantidades menores de lapilli de pómez. Sobreyace a la Formación Turi y está sobre yacida por la Formación Quimsacocha. Se acuña hacia el este donde las formaciones anteriores se juntan. Parece ser el producto de numerosas caídas de ceniza menores intercaladas con períodos de sedimentación fluvial y lacustre (W T Pratt, 1997)

2.3.3 Formación Quimsacocha (M_q)

Corona la formación Turi alrededor de la caldera de Quimsacocha. Los estratos son lavas con bandeamiento de flujo con fenocristales de feldespatos, plagioclasa, piroclastos andesíticos tobas y brechas. Localmente están presentes grandes bloques redondeados con textura esferoidal. La formación ocurre alrededor y dentro de la caldera. Con la formación Turi, el aforamiento es radial, con buzamientos suaves, hacia el exterior de la caldera. (W T Pratt, 1997)

2.3.4 Formación Tarqui (M_{Tq})

Aflora principalmente en las faldas orientales de la caldera de Quimsacocha donde sobreyace a la formación Turi, y en el páramo entre Oña y Saraguro. Cubre a todas las formaciones más antiguas discordantemente y alcanza un espesor máximo, cercano a 400 m al oeste de Saraguro. Las exposiciones en Quimsacocha comprenden tobas ácidas fuertemente meteorizadas. En contraste, al norte de Saraguro, las rocas son principalmente capas delgadas de tobas, algunas formadas por caída en aire, conglomerados tobáceos y areniscas tobáceas. Comprende una matriz arenosa, rica en fragmentos líticos angulares, cuarzo, feldespato y biotita, con fragmentos angulares de 10 a 50 mm de largo. (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, 1969)

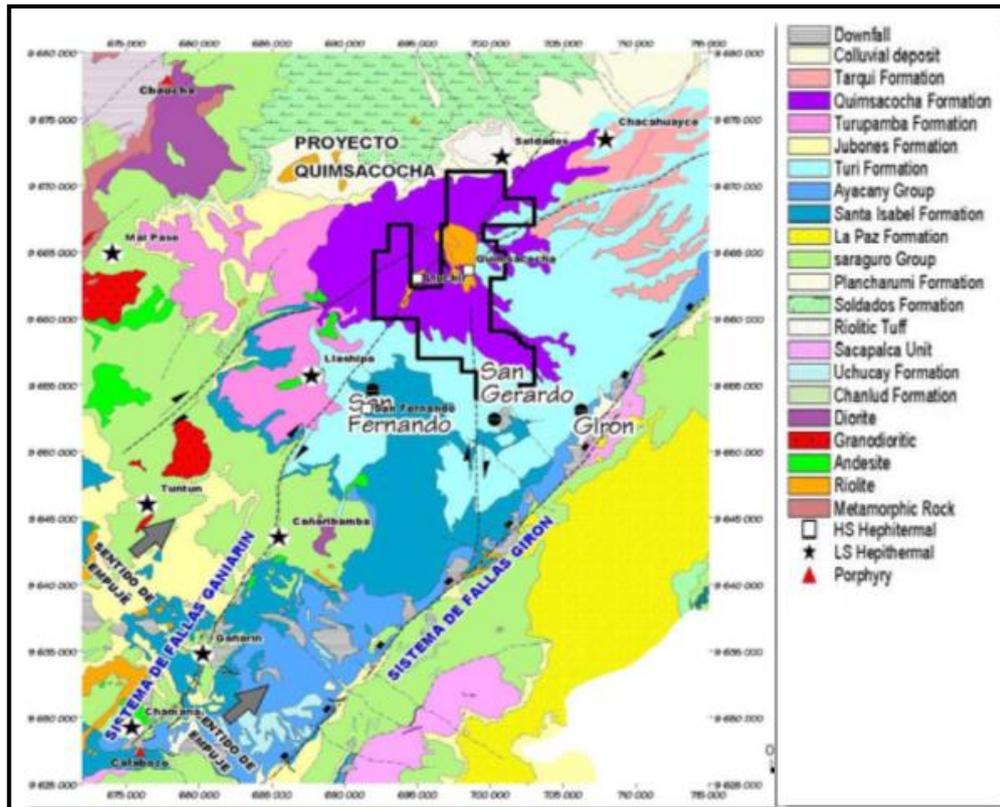


Figura 2.9 Formaciones geológicas en el proyecto minero Loma Larga

Fuente: (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

2.3.5 Rocas intrusivas

Existen intrusiones como gabros y microgabros con textura riolítica común, ocurren como parte de la Unidad Pallatanga. El cuarzo y tonalitas están esparcidas incluyendo las rocas metamórficas, las formaciones cretáceas, la Unidad Sacapalca y la parte baja del Grupo Saraguro, pero están ausentes en la parte NE del mapa. Los granitoides son de grano medio a grueso, a menudo presentan evidencia de enfriamiento brusco, indicativo de un emplazamiento subvolcánico (alto nivel) (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

2.3.6 Depósitos cuaternarios

Los drenajes principales se encuentran cubiertos por terrazas aluviales; los depósitos aluviales cubren principalmente rocas Cretáceas-Terciarias en las partes bajas de la planicie costera. Al este de pasaje se identificaron depósitos de abanicos aluviales cubriendo el Grupo Saraguro. En la parte norte de Manú fueron mapeados depósitos coluviales (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

2.4 Geología local

El proyecto “Loma Larga” se encuentra entre las fallas Gañarín y Girón.

- **Falla Girón:** va con un rumbo de N-NE a N comprendido con pliegues cerrados, fallas inversas y cabalgamientos, en muchos lugares este sistema tiene una convergencia muy pronunciada hacia el NO con un cráter inverso. (W T Pratt, 1997)
- **Falla Gañarín:** tiene un rumbo N-NE que va desde Zaruma y termina en Quimsacocha, comprende fallas sin-deposicionales, áreas de alteración hidrotermal y una concentración de intrusiones subvolcánicas de riolita y andesita (W T Pratt, 1997).

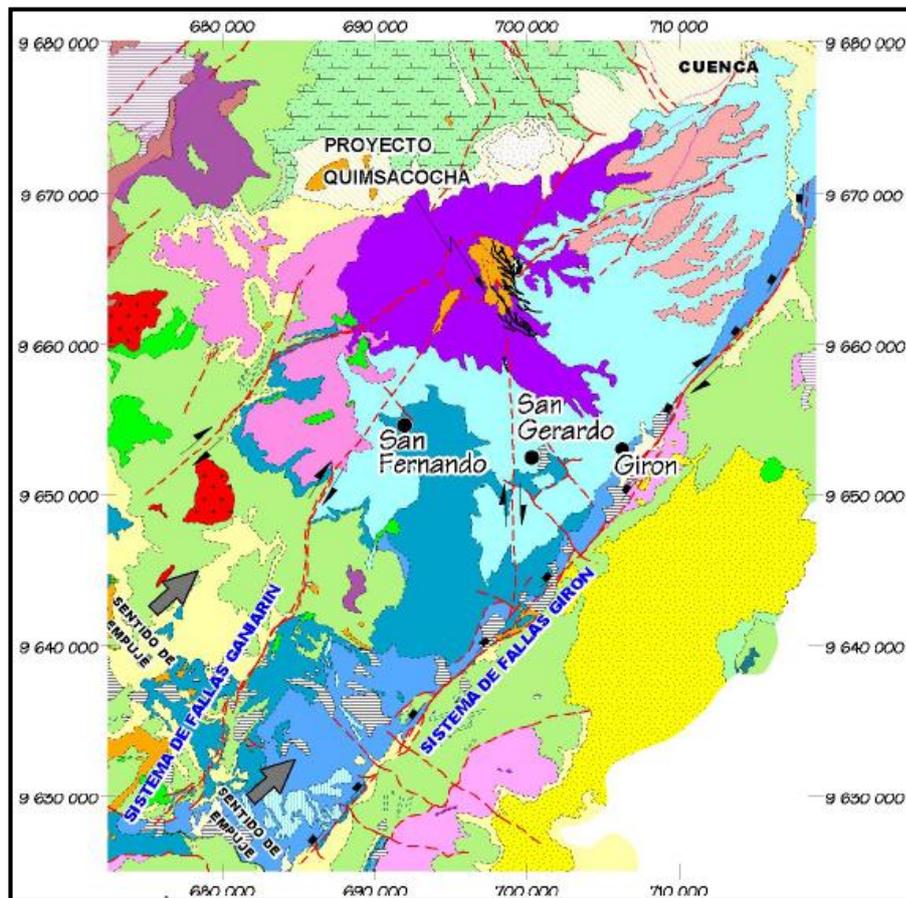


Figura 2.10 Fallas en el proyecto minero Loma Larga

Fuente: (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

Teniendo una tercera falla llamada río Falso que va de N-S esta une las fallas Gañarín y Girón siendo este el punto de origen para la alteración y los fluidos mineralizados.

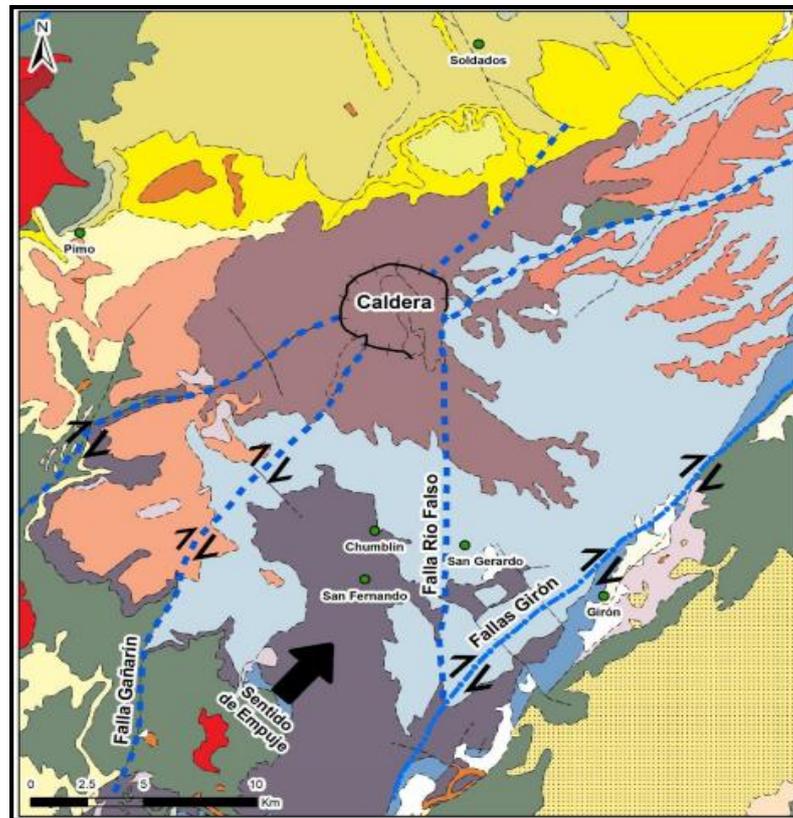


Figura 2-11 Sistema completo de fallas del proyecto Loma Larga

Fuente: (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

El proyecto tiene una caldera de 4km de diámetro colapsada, está controlada por la falla Gañarín y a unos 400 m al oeste del cuerpo mineral principal de Loma Larga; el área está cubierta por rocas volcánicas, volcanoclásticas, lavas andesitas, lavas microporfiríticas, andesita porfirítica hornbléndica, tobas andesíticas, tobas lapilli, toba de cristales, roca intrusiva diorítico, pórfido dacítico, brecha diatrema y por las formaciones Tarqui, Quimsacocha, Turi. (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

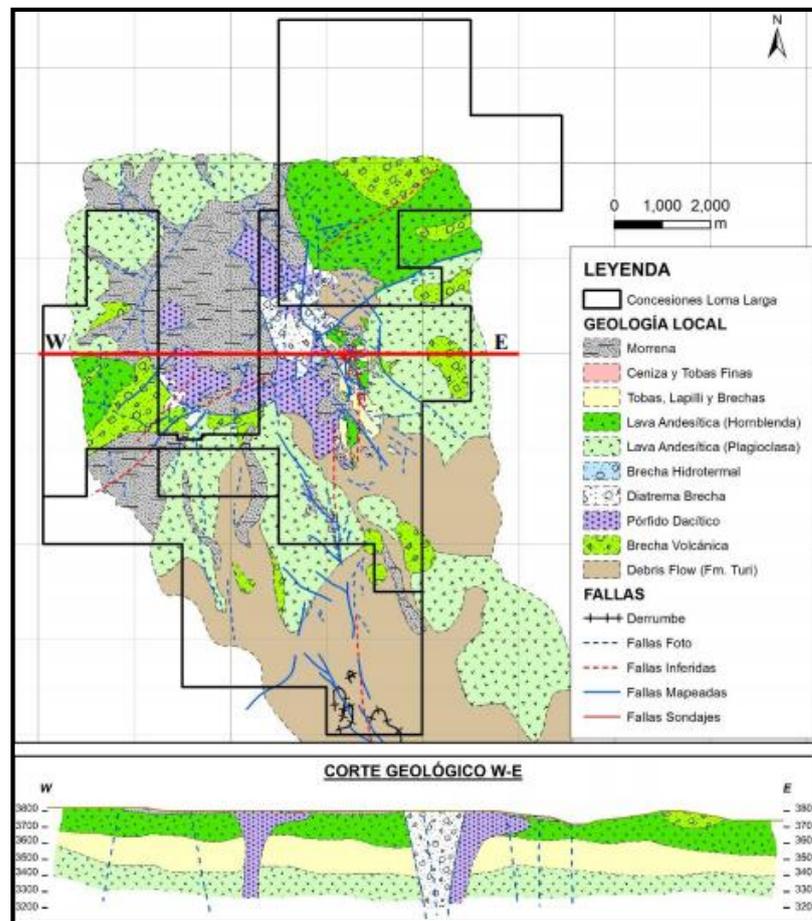


Figura 2.12 Geología local

Fuente: (Línea Base Proyecto Loma Larga, 2006)

El depósito se encuentra en dirección norte-sur, con desplazamiento posiblemente normal, algunas fallas se pueden apreciar en afloramientos en la zona de estudio, este lineamiento es posterior a la mineralización por lo cual se encuentran segmentados los cuerpos de interés (Barrreno, 2006).

“Loma Larga” presenta texturas minerales y mineralogía típica de un depósito epitermal de alta sulfuración, esta mineralización tiene correlación con el desarrollo de la caldera y fue emplazada en fallas, fracturas, diatremas y varios cuerpos de brecha de origen tectónico e hidrotermal (Barrreno, 2006)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE METALES PESADOS

3.1 Tipo de estudio

El estudio que se realizó fue cuantitativo y cualitativo, basándose principalmente en la toma de muestras de agua en campo, luego de la cual se realizó un análisis geoquímico para determinar concentraciones de metales pesados y parámetros a manejarse en dichas zonas.

3.2 Área de estudio

El área en la que se realizó el estudio se encuentra sobre las microcuencas de los ríos Irquis, Tarqui, Bermejos, Rircay y en las lagunas presentes en la caldera Quimsacocha, en toda el área de estudio se recolectó un total de 100 muestras en los drenajes de las cuencas mencionadas.

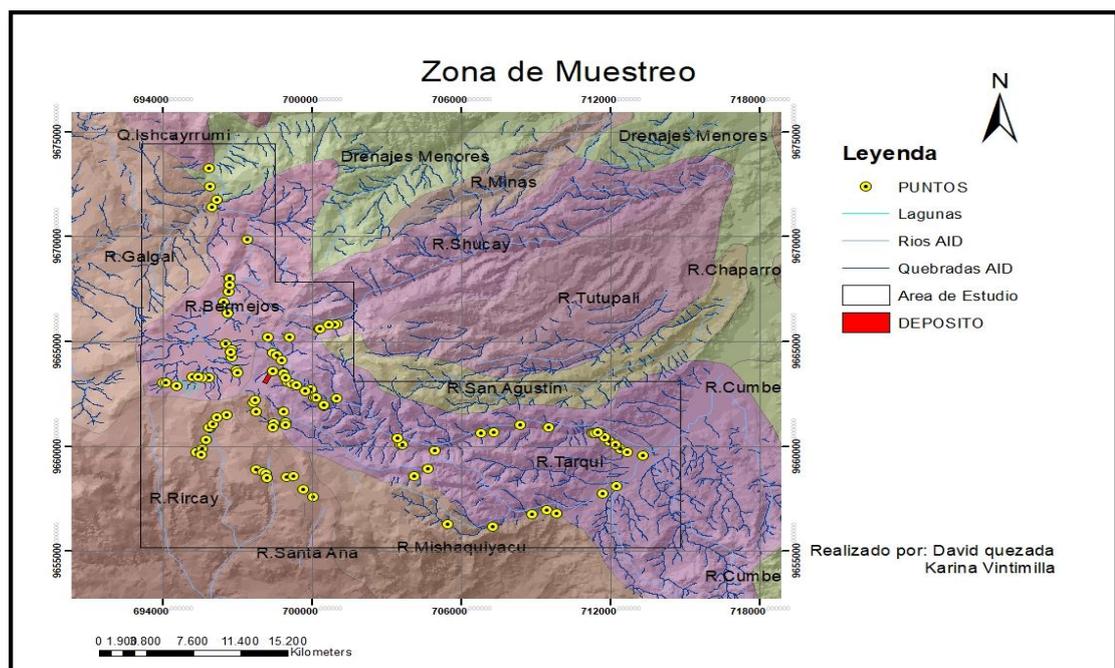


Figura 3.1 Zona de muestreo del proyecto minero Loma Larga

3.3 Muestreo de agua.

El muestreo del estudio, se basa en un protocolo para análisis de agua de la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR “Manual para Formularios de Muestreo”, donde nos indican ciertos parámetros tales como: clima, geología, georeferenciación y etiquetado del envase.

Con esta guía se recolectaron un total de 100 muestras de agua en lugares estratégicos ubicados en los drenajes de las microcuencas: Irquis, Tarqui, Bermejos y Rircay las cuales forman parte del Área de Influencia Directa (AID) del Proyecto “Loma Larga” tomándose muestras con distancias entre 2 a 3 km de separación, la recolección se realizó entre los meses de octubre y noviembre de 2018 con dos grupos de estudiantes, en el cual se contaba con un guía conocedor de la zona, en cada uno de los puntos establecidos se recolectaba 500 ml de agua y se colocaba en recipientes previamente esterilizados, etiquetándolos con su fecha y ubicación.



Figura 3.2 Toma de muestras de agua

Créditos: Karina Vintimilla

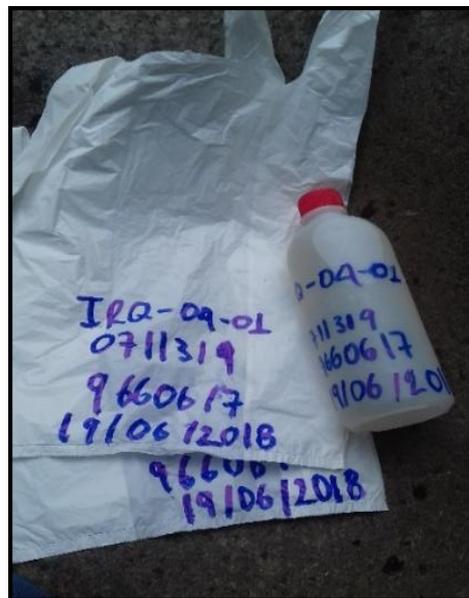


Figura 3.3 Etiquetado de muestras de agua

Créditos: David Quezada

3.4 Preparación de muestras y análisis

Las muestras de agua fueron filtradas para eliminar impurezas o restos de materia orgánica que podrían contener. Luego se procedió a realizar el análisis mediante los siguientes métodos:



Figura 3.4 Preparación de muestras

Créditos: David Quezada



Figura 3.5 Filtrado de muestras

Créditos: Karina Vintimilla

3.4.1 Polarografía: se uso este método para determinar concentraciones de plomo, cadmio y zinc con un limite de detención mayor a 8 ppb.

3.4.2 Horno de grafito: este método de absorción atómica, se uso para detectar las concentraciones de arsénico con un límite de detección mayor a 0,56 ppb.

3.4.3 Vapor frío: este método de absorción atómica, se uso para detectar las concentraciones de mercurio con un límite de detección mayor a 3,12ppb.

Cabe recalcar que se tuvo que realizar tres métodos de análisis debido a las propiedades de los metales y sus concentraciones en las muestras tomadas, las cuales están en el orden de partes por billón (ppb)

Se obtuvieron resultados de Zinc en todo el estrato muestral, 35 resultados de Arsénico mientras que de Plomo, Cadmio y Mercurio no se obtuvieron resultados presumiendo que las concentraciones pueden estar por debajo de los límites de detección o a su vez no se tiene dichos metales en el agua. (Ver anexo 1 y 2).

CAPÍTULO 4

ELABORACIÓN DE MODELO DE DISPERSIÓN

4.1 Validación e interpretación de datos

Para comenzar a realizar la interpretación de datos, se utilizó como base el Flujo-grama de Julio Moreno Izquierdo impartido en el “Taller de Geoestadística” del Instituto Espacial Ecuatoriano, se puede observar en la siguiente figura 4.1.

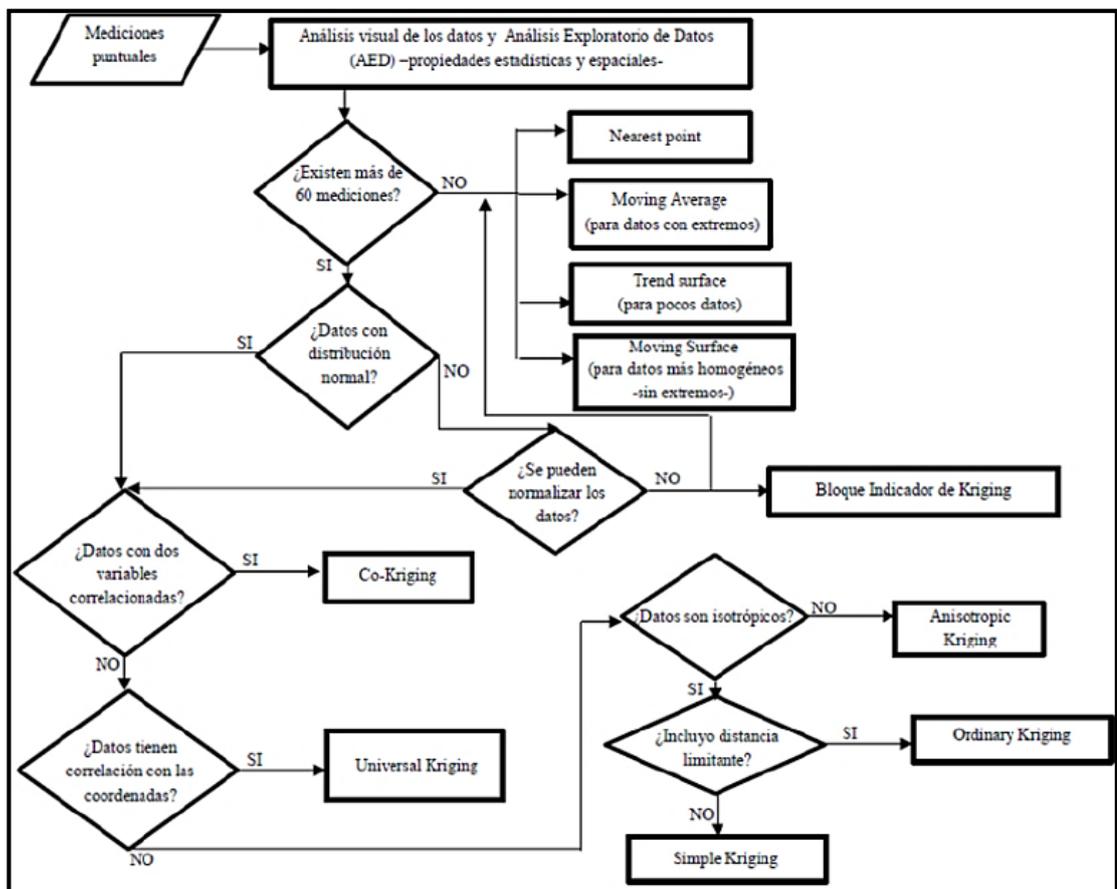


Figura 4.1 Flujograma para el análisis visual y exploratorio de datos

Fuente: (Dalence, 20012)

Se realizó un análisis exploratorio de datos donde se obtuvieron un total de 100 muestras por lo tanto se procede a realizar la verificación de la normalidad de los datos.

4.1.2 Verificación de normalidad

El flujograma es utilizado solo con el Zinc ya que es el único que cumple con las condiciones; se analizó los datos obtenidos de las concentraciones los cuales

no tienen una distribución normal sin embargo se los normalizará estadísticamente mediante el programa Origin.

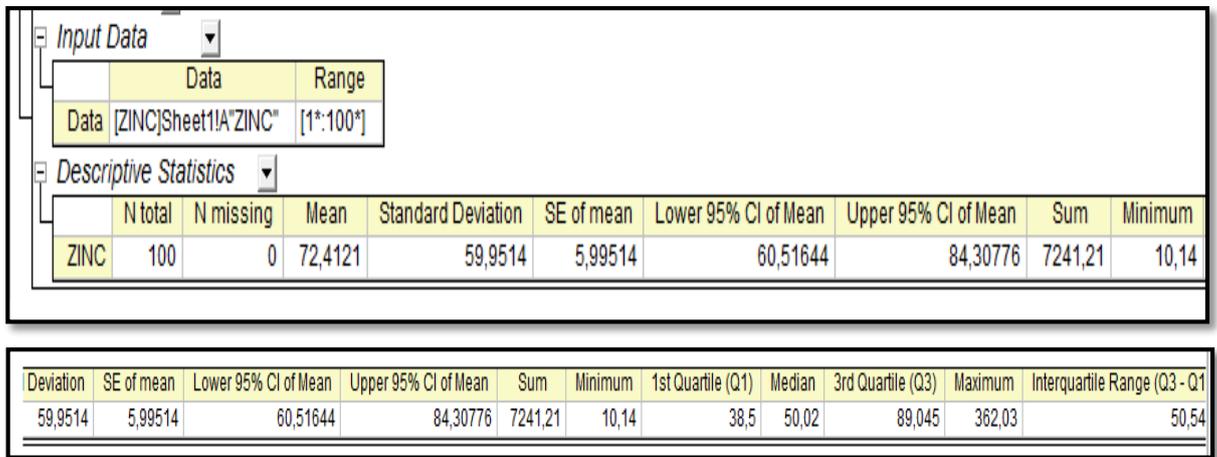


Figura 4.2 Estadística Descriptiva de Zinc

Fuente: David Quezada, Karina Vintimilla

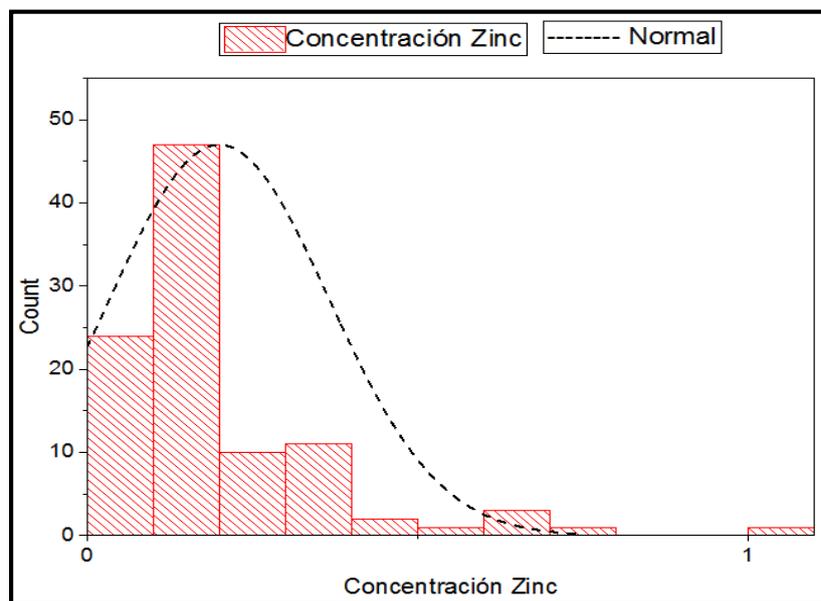


Figura 4.3 Histograma y distribución normal de zinc

Fuente: David Quezada, Karina Vintimilla

4.1.3 Diagrama de caja de zinc

Estos diagramas se realizaron para determinar valores altos que puedan alterar la información, también nos puede indicar ciertos valores anómalos o incoherentes.

Como se puede apreciar se tiene un valor muy elevado cerca del cráter lo que podría alterar el modelo de dispersión sin embargo se lo tomará debido que se encuentra a una distancia prudente de la mineralización (BCRA-03).

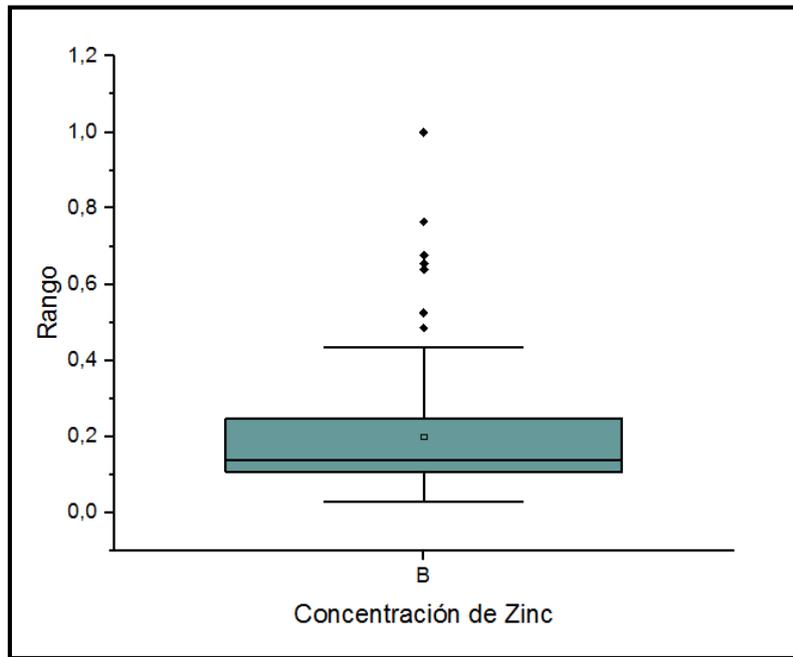


Figura 4.4 Diagrama de caja de datos de zinc

Fuente: David Quezada, Karina Vintimilla

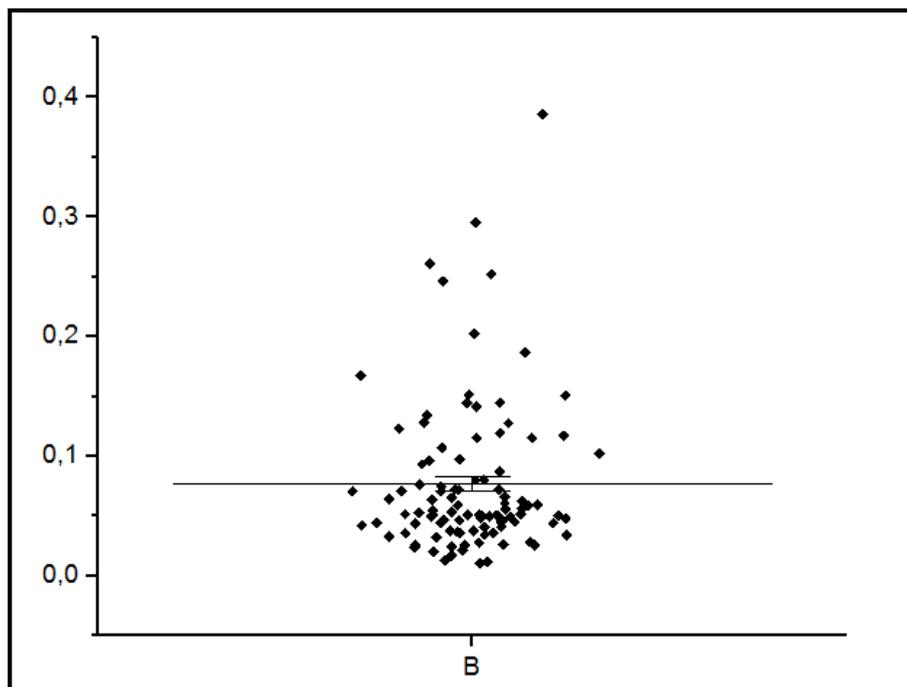


Figura 4.5 Diagrama de dispersión de zinc

Fuentes: David Quezada, Karina Vintimilla

4.1.4 Pruebas de correlación lineal de Pearson de Zinc

Debido a los resultados obtenidos se trabajó con Zinc haciendo una correlación de datos con el resto de metales.

Se puede observar en la Tabla 4.1 que la correlación de los metales con Zn es muy baja y del Mercurio no se efectuó debido a sus datos nulos.

Coefficiente de Correlación de Pearson	Pb	Cd	As
Zn	-0,12745343	-0,120163042	0,678260924

Tabla 4.1 Coeficiente de correlación de muestras

Fuente: David Quezada, Karina Vintimilla

4.1.5 Correlación con las coordenadas

Realizando la correlación de las concentraciones con las coordenadas se puede observar que tiene una similitud casi perfecta con la coordenada, demostrando

así que la concentración varía conforme nos alejamos de la zona del depósito del mineral.

Coeficiente de Correlación de Pearson	Y	Zn
Zn	0,09955309	1

Tabla 4.2 Correlación de Pearson con Coordenadas

Fuente: David Quezada, Karina Vintimilla

4.2 Mapa de concentraciones relativas

En la siguiente gráfica se puede observar mediante los valores obtenidos en los datos que se han muestreado y con concentraciones relativas apreciamos que los valores altos se encuentran cerca del depósito en las cabeceras de las microcuencas aledañas. A su vez que el agua avanza en su cauce natural va disminuyendo su concentración e incluso existen zonas en donde no existen concentraciones de metal en agua.

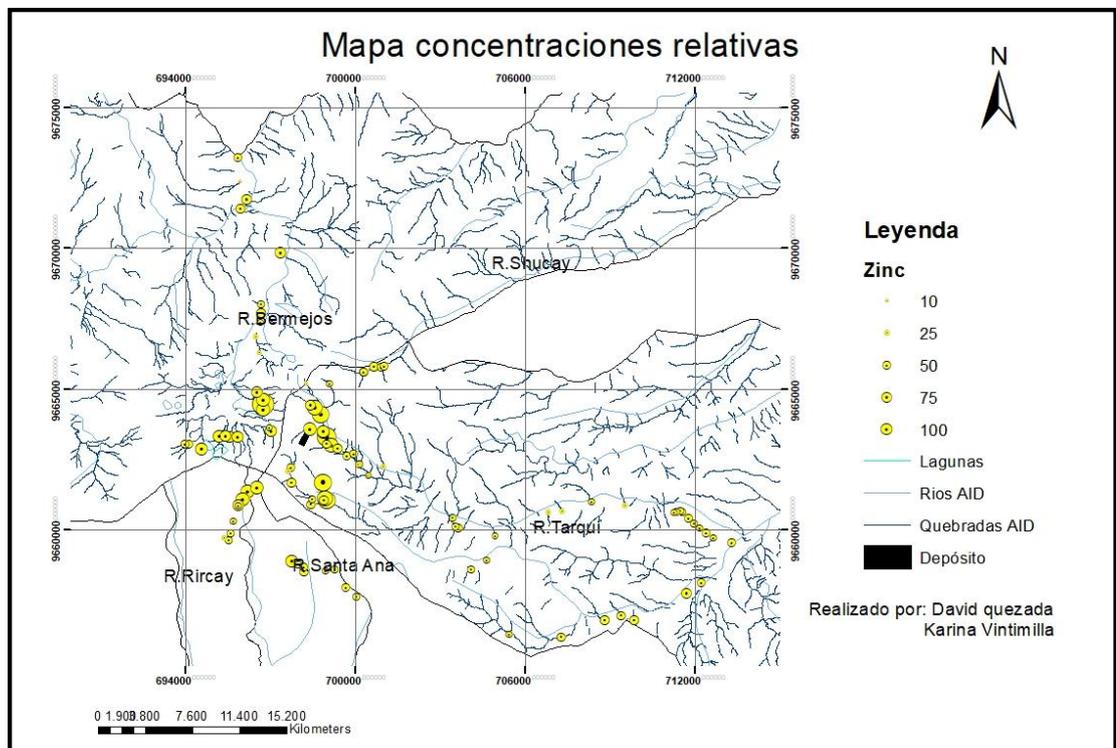


Figura 4.6 Mapa de concentraciones relativas

4.3 Modelo de dispersión geoquímica del Zn

Para realizar el modelo de dispersión geoquímica del Zn se utilizó el programa ArcGis mediante un método de Krigin Simple donde se interpolaron los valores reales de la concentración de Zinc, obteniendo así un resultado positivo de dicho modelo.

Al realizar el modelo de dispersión geoquímica del Zinc, podemos observar que los datos son coherentes debido a que en la zona cercana al yacimiento existe una mayor concentración de Zn con un valor máximo de 196,28 ppb, no obstante en las zonas lejanas al yacimiento donde se tiene valores mínimos de 18,92 ppb (Figura 4.7)

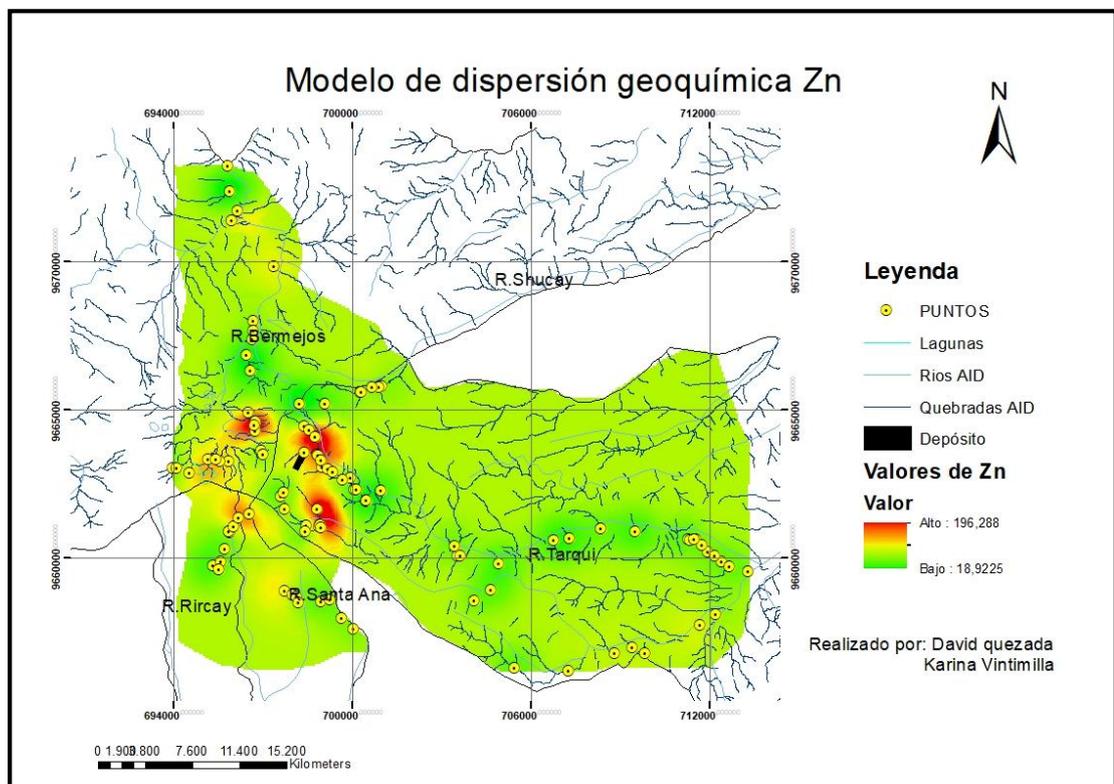


Figura 4.7 Modelo de dispersión geoquímica de zinc

Analizando la distribución geoquímica en la cuenca del río Bermejos se encuentra que, en la parte baja existen anomalías del Zn, las cuales son producto del arrastre del metal mediante el agua que transporta los metales hasta zonas lejanas al depósito y por condiciones físico químicas hay partes en las cuales puede aumentar la concentración o a su vez disminuir (figura 4.8)

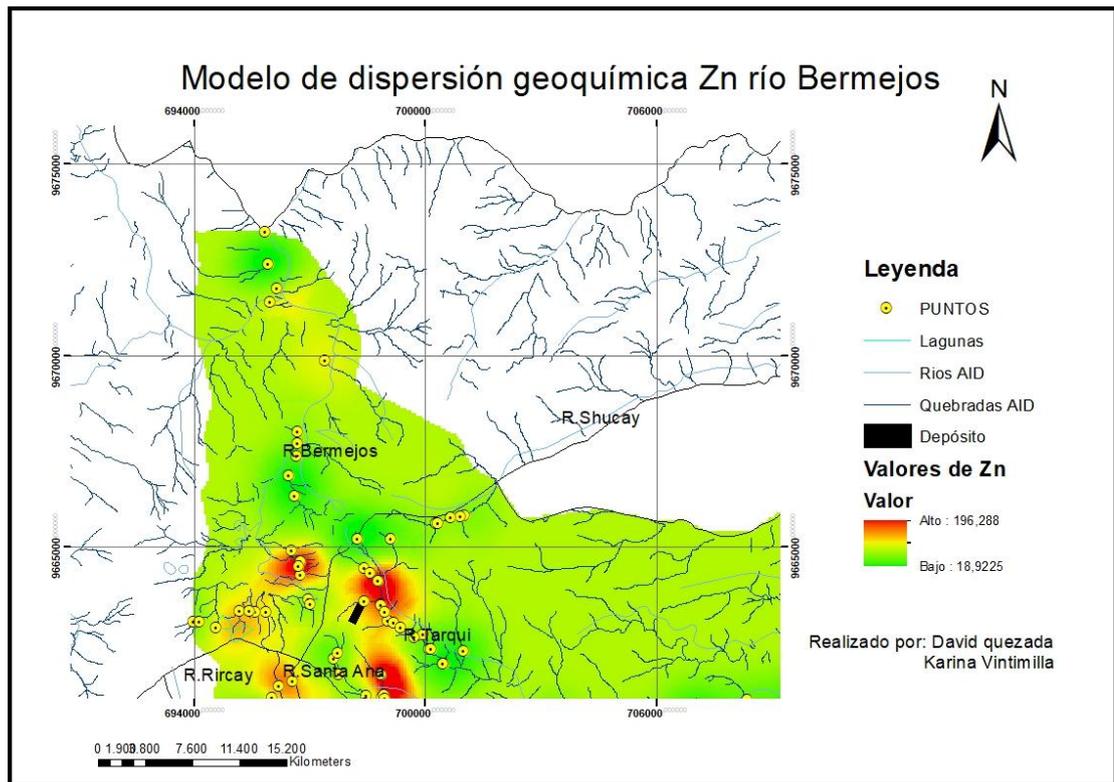


Figura 4.8 Modelo de Dispersión Geoquímica en el río Bermejos

En cuanto a los otros metales tales como Pb, As, Cd y Hg no se han obtenido valores de concentración por lo que no se puede proceder a realizar un modelo de dispersión geoquímica, sin embargo, mediante un análisis del diagrama de Pourbaix se puede corroborar la inexistencia de valores de otros metales pesados.

4.3.1 Diagrama de Pourbaix de zinc

De acuerdo al diagrama de Pourbaix del Zn podemos demostrar la existencia del Zinc en el agua con los datos obtenidos, debido a que con un pH entre 0 a 8 y el potencial eléctrico Eh entre 0 a 1,2 se puede encontrar Zinc iónico (Zn^{2+}) es decir en estado acuoso (figura 4.9)

El agua que se tiene en el Proyecto minero “Loma Larga” esta dentro de los parámetros tanto de pH que varían entre 4 a 7 como el Eh con valores entre -0,8 a -0.4 por lo que se encuentra Zn en la zona de influencia.

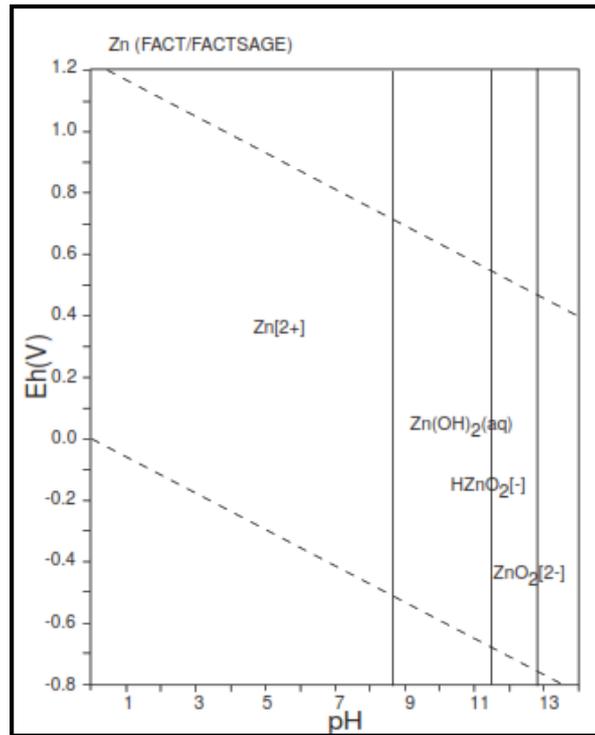


Figura 4.9 Diagrama de Pourbaix de zinc

Fuente: (Takeno, 2005)

4.3.2 Diagrama de Pourbaix de plomo (Pb)

En cuanto al diagrama de Pourbaix del plomo se puede observar que con el pH obtenido en las muestras de agua del proyecto que van de 4 a 7 y con el potencial Eh que va de -0,8 a -0,4, nos indica que el plomo (Pb) se encuentra en estado sólido.

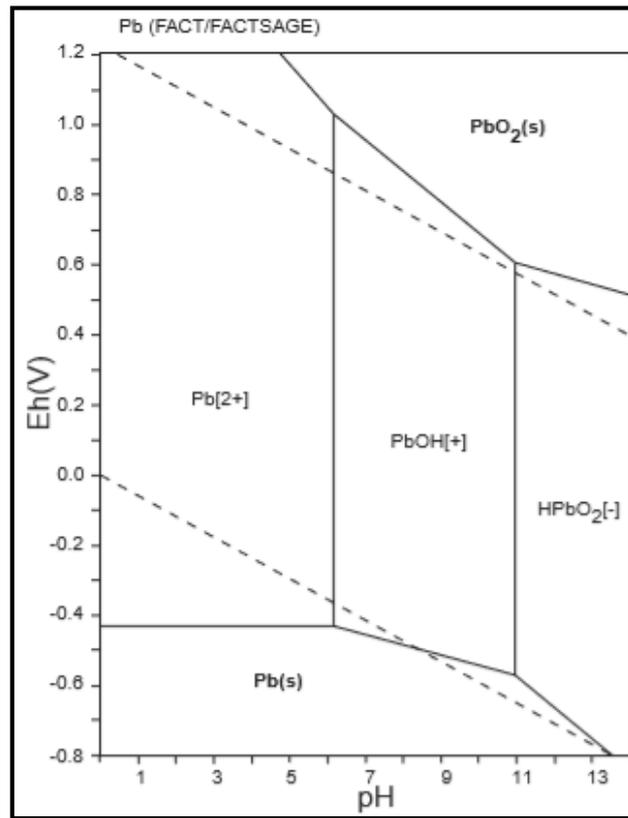


Figura 4.10 Diagrama de Pourbaix de plomo

Fuente: (Takeno, 2005)

Es por eso que en los análisis geoquímicos que se han realizado en agua no se obtienen valores de plomo, pero a su vez los análisis geoquímicos realizados en los sedimentos de la zona, se puede apreciar que valores de plomo existen.

Se puede observar que en las zonas cercanas al proyecto se encuentran concentraciones de plomo que van desde los 40 ppm hasta los 128 ppm en los afluentes del río Portete siendo la zona con más alta concentración en el área del estudio en relación a las microcuencas de los ríos Irquis y Bermejós donde las concentraciones son bajas con valores entre 6 a 25 ppm (figura 4.11) (Peralta, 2018)

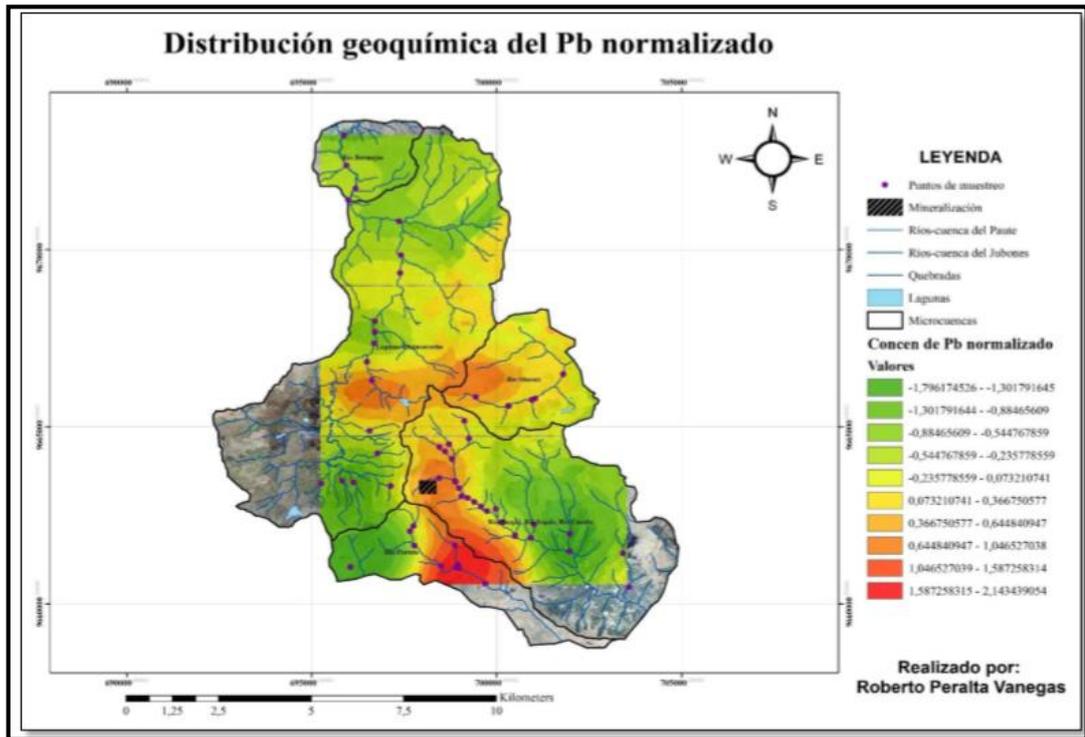


Figura 4.11 Dispersión de plomo en sedimentos

Fuente: (Peralta, 2018)

4.3.3 Diagrama de Pourbaix de mercurio (Hg).

De igual manera en el diagrama de Pourbaix de mercurio se puede observar, que en los valores de pH del proyecto y los valores de Eh, el mercurio se encuentra en estado sólido por lo que al analizar las concentraciones de mercurio en agua no se obtienen valores.

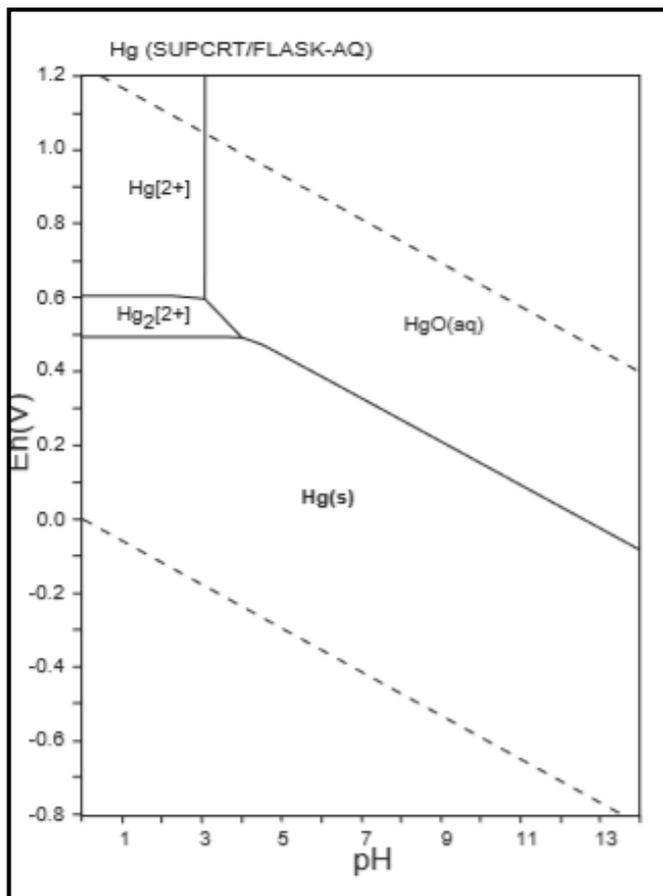


Figura 4.12 Diagrama de Pourbaix de mercurio

Fuente: (Takeno, 2005)

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE BACTERIAS EN AGUA

Para realizar el análisis microbiológico, se tuvo que recolectar muestras en el área de estudio, principalmente en el río Alumbre y puntos estratégicos como las lagunas ubicadas en la caldera de Quimsacocha y en el sector donde se ubicara la galería principal de acceso, además se realizó un medio de cultivo para analizar si existe o no crecimiento de bacterias que puedan incidir en la generación de drenaje ácido de mina (DAM).

5.1 Medio de cultivo

El medio de cultivo que se uso fue el medio 9K de Silverman, enriquecido con Sulfato de Hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), se preparó un total de 200 ml, distribuidos en 20 tubos de ensayo colocando 10 ml por cada tubo.

Este es un medio líquido, que se lo puede trabajar a temperatura ambiente, que tuvo un pH de 2,6 y se lo preparo de la siguiente manera.

Medio de cultivo 9k de Silverman	
Compuesto	Cantidad
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,6 g
KCL	0,02 g
K HPO ₄	0,1 g
MgSO ₄ + 7H ₂ O	0,1 g
Ca(NO ₃) ₂	0,02 g
FeSO ₄	8,84 g
H ₂ SO ₄	0,2 ml
Agua Destilada	200ml

Tabla 5.1 Composición del medio de cultivo de Silverman

Fuente: (Merino & R.M.Sáenz, 1973)

Se pesó cada uno de los compuestos químicos, y se mezcló en un matraz Erlenmeyer de 200 ml y luego se colocó en tubos de ensayo dejando listo para la inoculación del agua a ser analizada.



Figura 5.1 Preparación del medio de cultivo

Créditos: David Quezada, Karina Vintimilla



Figura 5.2 Preparación de soluciones del medio de cultivo

Créditos: David Quezada, Karina Vintimilla

5.2 Muestreo de agua para análisis microbiológico

Para realizar el muestreo de agua se siguió el mismo protocolo de análisis de la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR “Manual para Formularios de Muestreo”, los puntos a muestrearse fueron en el sector del río Alumbre, debido a que existe una variación en el pH del agua que va desde pH 7 hasta pH 3, además se tomo tres puntos específicos más ubicados en las lagunas de la caldera de Quimsacocha y en el sector donde estará ubicada la galería de acceso.

Se recolectaron las muestras en recipientes estériles con un volumen de 500 ml, además se etiquetó cada una de las muestras con su respectiva codificación y coordenadas. (Ver anexo 3).

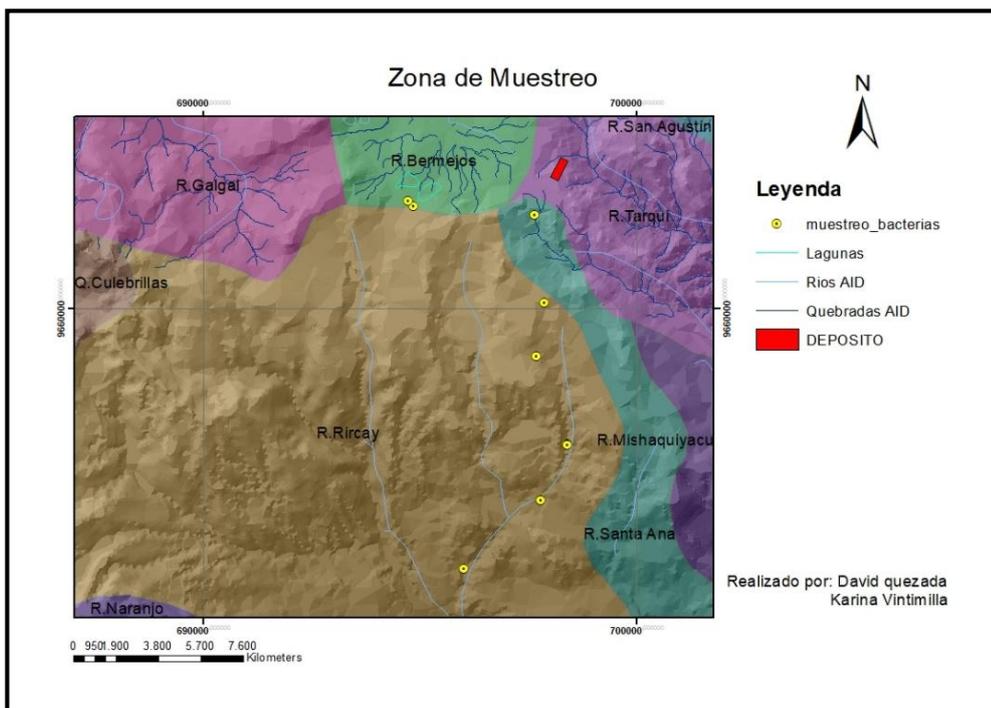


Figura 5.3 Zona de muestreo de agua para las bacterias

5.3 Análisis y resultados de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras se procedió a la inoculación del agua en cada uno de los tubos de ensayo, se recolectó un total de 9 muestras de las cuales se agregó en los primeros 9 tubos la cantidad de 10 ml, seguido se colocó la cantidad de 1 ml en los siguientes 9 tubos, en los dos restantes se añadió la cantidad de 5 ml de las muestras con pH más bajo del río Alumbre ALB-06-03 y ALB-07-04

Código	pH
CB-01	5,76
CB-02	5,71
BMB-03	5,85
ALB-01-04	5,86
ALB-02-05	3,72
ALB-06-03	3,63
ALB-07-04	5,31
ALB-08-05	6,09
ALB-09-06	6,31

Tabla 5.2 pH inicial de las muestras

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla

Realizada la inoculación, se realizó el etiquetado de cada uno de los tubos, se lo dejó reposar a temperatura ambiente, y con el pasar de los días, se fue analizando el cambio de coloración y de pH de cada una de las muestras.

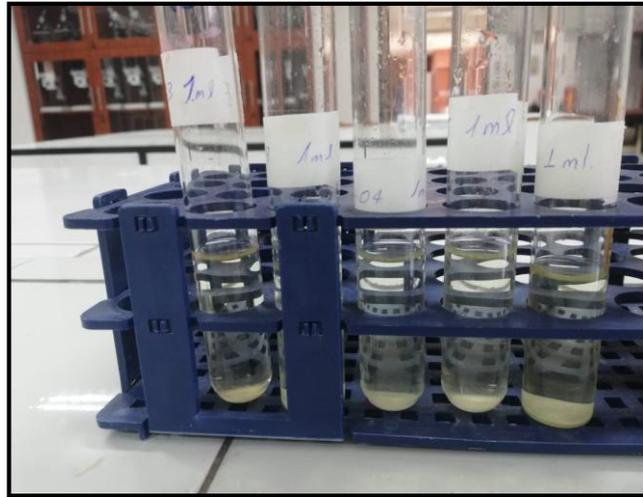


Figura 5.410 Agua inoculada en el cultivo

Créditos: David Quezada

El pH de cada una de las muestras se encontraba entre 2,8 y 2,9 debido a la inoculación del agua, en las dos primeras semanas de análisis donde no se notó cambio en la coloración de las muestras y el pH se obtuvo pequeñas variaciones en los tubos que contenían 10 ml. Por otro lado, en los tubos que contenían 1ml, no se notó cambio de coloración ni de pH.

Muestra 10ml		
Código	Semana 1(pH)	Semana 2(pH)
CB-01	2,87	2,85
CB-02	2,90	2,79
BMB-03	2,85	2,82
ALB-01-04	2,91	2,81
ALB-02-05	2,87	2,82
ALB-03-06	2,84	2,79
ALB-04-07	2,81	2,78
ALB-05-08	2,88	2,88
ALB-06-09	2,83	2,79

Tabla 5.3 pH
semana

primera y segunda

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla

A partir de la tercera semana se empezó a notar una coloración anaranjada, solo en ciertas muestras mientras que las otras se mantenían transparentes, y al realizar las mediciones del pH se obtuvo que los valores comenzaron a disminuir quedando entre 2,7 y 2,8 pH.

Las muestras que contenían 1ml de agua se pudo visualizar un anaranjado muy pálido en las muestras tomadas en el sector del río Alumbre y una variación de pH muy leve.

Muestra 10ml	
Código	Semana 3 (pH)
CB-01	2,85
CB-02	2,81
BMB-03	2,83
ALB-01-04	2,75
ALB-02-05	2,73
ALB-03-06	2,72
ALB-04-07	2,71
ALB-05-08	2,80
ALB-06-09	2,74

Cambio de coloración semana 3 muestra 10ml



Tabla 5.4 pH semana 3 muestra 10ml

Figura 5.5

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla Créditos: David Quezada

Muestra 1ml	
Código	Semana 3 (pH)
CB-01	2,84
CB-02	2,79
BMB-03	2,82
ALB-01-04	2,81
ALB-02-05	2,83
ALB-03-06	2,79
ALB-04-07	2,75
ALB-05-08	2,77
ALB-06-09	2,79

Tabla 5.5 pH semana 3 muestra de 1ml



Figura 5.6 Cambio de coloración semana 3 muestra 1ml

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla Créditos: Karina Vintimilla

En la cuarta semana, el color anaranjado fue más intenso y apareció en algunas otras muestras, lo que nos indicaba que era positivo la presencia de bacterias con incidencia en la generación de drenaje ácido de mina, obteniendo valores de pH entre 2,6 a 2,7 pH en los tubos de 10 ml.

Además, en los tubos de 1 ml también se notó cambio de coloración a anaranjado en las muestras, y los pH disminuyeron solo en 3 muestras recolectadas en el río Alumbre lo que corrobora la existencia de bacterias.

Muestra 10ml	
Código	Semana 4 (pH)
CB-01	2,82
CB-02	2,72
BMB-03	2,82
ALB-01-04	2,73
ALB-02-05	2,74
ALB-03-06	2,64
ALB-04-07	2,66
ALB-05-08	2,76
ALB-06-09	2,65



Tabla 5.6 pH semana 4 muestra 10ml

Figura 5.7 Cambio de coloración semana 4 10 ml

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla Créditos: David Quezada

Muestra 1ml	
Código	Semana 4 (pH)
CB-01	2,80

CB-02	2,70
BMB-03	2,82
ALB-01-04	2,79
ALB-02-05	2,80
ALB-03-06	2,75
ALB-04-07	2,64
ALB-05-08	2,67
ALB-06-09	2,83

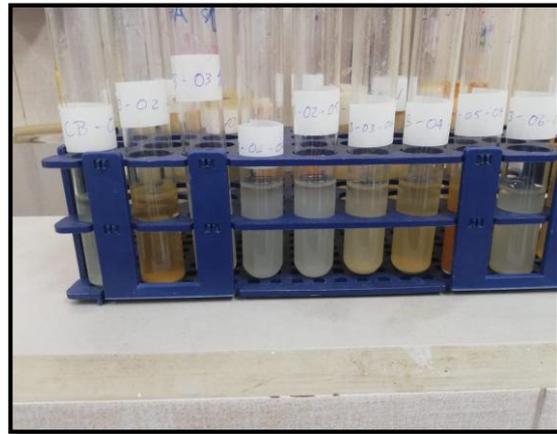


Tabla 5.7 pH semana 4 muestra 1ml

Figura 5.8 Cambio de coloración semana 4 1ml

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla

Créditos: Karina Vintimilla

Como resultado final se detectó mayor presencia de bacterias en el río Alumbre en los puntos centrales del río donde el pH del agua era bajo y se presumía la existencia, y con menor presencia de bacterias en las partes más bajas donde el pH comenzaba a subir nuevamente (tabla 5.8), además se detectó muy poca presencia de bacterias en la laguna de la caldera de Quimsacocha.

Muestra 10ml					
Código	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Resultado
CB-01	2,87	2,85	2,85	2,82	-

CB-02	2,90	2,79	2,81	2,72	+
BMB-03	2,85	2,82	2,83	2,82	-
ALB-04-01	2,91	2,81	2,75	2,73	-
ALB-05-02	2,87	2,82	2,73	2,74	+
ALB-06-03	2,84	2,79	2,72	2,64	++
ALB-07-04	2,81	2,78	2,71	2,66	++
ALB-08-05	2,88	2,88	2,80	2,76	+
ALB-09-06	2,83	2,79	2,74	2,65	++

Tabla 5.8 Resultado Final de la Inoculación de la Bacteria

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla

RESULTADOS FINALES

Los resultados obtenidos en el análisis de metales pesados mediante absorción atómica fueron los siguientes:

Zinc (Zn). - En el Zinc se obtuvieron resultados de concentración con valores entre 18.92 ppb y 196.28 ppb en la totalidad de las muestras, lo cual nos permitió generar el modelo de dispersión geoquímica, obteniendo resultados positivos.

Arsénico (As). - En cuanto al arsénico se obtuvieron pocas lecturas de concentración en sectores del río Irquis y río Alumbre (ver anexo 1 y 2), por lo tanto, no se pudo realizar el modelo de dispersión geoquímica.

Plomo (Pb). - No se obtuvieron lecturas de su concentración.

Cadmio (Cd). - No se obtuvieron lecturas de su concentración.

Mercurio (Hg). - No se obtuvieron lecturas de su concentración.

Adicionalmente los resultados del análisis microbiológico de la posible existencia de bacterias acidófilas fueron positivos, en la zona media y baja del río Alumbre puntos ALB-06-03; ALB-07-04 Y ALB-09-06 donde la coloración anaranjada fue intensa lo que demuestra presencia de bacterias acidófilas (ver anexo 10).

Muestra 10ml	
Código	Resultado
CB-01	-
CB-02	+
BMB-03	-
ALB-04-01	-
ALB-05-02	+
ALB-06-03	++
ALB-07-04	++
ALB-08-05	+
ALB-09-06	++

Tabla 5.9 Resultado de presencia de la Bacteria

Realizado por: David Quezada, Karina Vintimilla

CONCLUSIONES

El modelo de dispersión geoquímica que se ha generado nos indica que existen focos de concentraciones de Zinc, especialmente en las zonas cercanas al yacimiento con

valores 196.28 ppb, las cuales no son muy significativas debido a que se encuentran por debajo de los límites permisibles para el uso agropecuario que es de 2000 ppb y para uso humano el límite permisible es de 5000 ppb de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del TULSMA; cabe recalcar que en la zona de estudio no se realiza ninguno de estos usos con el agua muestreada.

Los resultados de Pb, Cd, Zn, Hg y As, no se lograron obtener en el agua debido a las condiciones de pH con valor de 7 y una conductividad eléctrica (Eh) mínima que presenta el agua de la zona, esto se comprueba con los diagramas de Pourbaix en donde indica el estado en el que se encuentran los metales.

Se pudo corroborar que los datos de Pb no se obtienen en aguas, pero si en sedimentos tomados en los drenajes de la zona de estudio, donde se tiene valores de 40 hasta 128 ppm; además en un estudio similar realizado en el río Nanay - Perú se indica que las concentraciones de metales pesados se encuentran en sólidos, en el caso del plomo con valores entre 0.006ppm a 0.119ppm, mientras que en el agua la concentración es mínima con valores de plomo < 0.009 ppm.

El modelo de dispersión que se logró generar es específicamente para aguas ubicadas en los ríos del proyecto, más no en humedales o lagunas que puedan encontrarse en la zona; por tanto, los valores de concentración de metales no tendrían relación con los valores que se podrían encontrar en las zonas mencionadas o en aguas subterráneas.

Se logró demostrar la presencia de bacterias que puedan incidir en la generación de drenaje ácido de mina, en lugares donde el pH del agua cambia de manera significativa llegando hasta un pH de 3, que es donde se encuentra la mayor presencia de bacterias con un color anaranjado, característico de bacterias presentes en agua.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis microbiológico, el lugar donde existe una presencia de bacterias acidófilas es en la parte intermedia del río Alumbre debido a que se obtuvo un color anaranjado encendido, no así en la cabecera del río y en la parte baja del mismo donde los resultados por coloración y pH fueron negativos.

El manual para formularios de muestreo que se usó en el estudio, planteado por la Universidad Central del Ecuador, es efectivo, debido a que se pudo mantener el agua en condiciones óptimas para los análisis de absorción atómica y microbiológica.

El uso del programa ArcGis para modelos de dispersión mediante interpolación geoestadística y el uso del kriging universal, es eficiente porque nos indica una idea

más clara de la distribución de los metales y las anomalías de concentración que pueden existir.

RECOMENDACIONES

Se debe tomar en cuenta que los análisis se realizaron en las épocas de verano en la zona del proyecto y que los resultados obtenidos pueden variar debido a que en épocas de invierno los caudales aumentan.

Se sugiere realizar el análisis de los metales pesados como Zn, Cd, As y Hg en los sedimentos de las cuencas, debido a que se demostró, con el plomo, que se encontraron valores en sedimentos y no en aguas.

El análisis microbiológico se puede profundizar, realizando una caracterización de la bacteria, mediante un aislamiento y así lograr determinar las principales bacterias presentes para poder neutralizarlas y evitar la generación de DAM, debido a que se tiene un depósito metálico de alta sulfuración, lo que ayuda al crecimiento de las bacterias.

Para obtener un mejor resultado en los valores de concentración de metales pesados, las aguas muestreadas deben ser analizadas dentro de las 48 horas luego de recolectarse, debido a que por factores externos pueden verse afectadas.

Debido a que el modelo de dispersión de metales nos indica resultados de concentración, y los análisis de bacterias nos dan resultados positivos, aun cuando el proyecto se encuentra en fase de exploración, y las cuencas se encuentran en su estado natural, se deberá generar nuevos modelos de dispersión de metales y análisis de bacterias cuando el proyecto se encuentre en etapa de explotación, debido a que los sulfuros y metales se encontrarán en mayor contacto con el agua por la creación de escombreras y relaveras lo que generara cambios en los resultados obtenidos.

Los resultados finales tanto en la concentración de metales pesados, como los obtenidos en las bacterias, ayuda a la empresa INV Metals, a plantear estrategias para mantener bajas las concentraciones de metales y neutralizar las aguas de pH bajo para evitar el crecimiento de bacterias, lo que nos ayuda a minimizar el impacto ambiental en el área de influencia directa (AID) cuando el proyecto entre en fase de explotación.

BIBLIOGRAFÍA

Universidad Nacional de Colombia. (2014). *unal.educo*. Obtenido de <http://www.docentes.unal.edu.co/mpbohorquezc/docs/clase%20junio%2012%20kriging.pdf>

- Análisis de Datos. (04 de 02 de 2015). Obtenido de <http://nubededatos.blogspot.com/2015/02/introduccion-al-diagrama-de-caja-box.html>
- Angelis, C. D. (2005). *POLARIMETRIA*. Obtenido de <file:///D:/USUARIO/Downloads/816541115.Polarimetr%C3%ADa.pdf>
- Arroyo, P. (2011). *Química y algo más*. Obtenido de <https://quimicayalgomas.com/quimica-general/acidos-y-bases-ph-2/>
- ATLAS GEOLÓGICO MINERO DE ECUADOR. (2017). *Instituto Nacional de Investigacion Geológico Minero Metalurgico*. Obtenido de <https://www.geoinvestigacion.gob.ec/atlas/Atlas-2017.pdf>
- Baena, E. G. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 48-60.
- Báez T, F. A. (2012). *Manual para los Formularios de Muestreo*. Ubiversida Central del Ecuador.
- Barrreno, I. J. (2006). Rep.Quimsacocha. Cuenca.
- Biología. (24 de 08 de 2008). Obtenido de <https://biologicaliga.files.wordpress.com/2008/08/bacteria2010.pdf>
- Boxplot. (2015). Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/graphs/how-to/boxplot/interpret-the-results/quartiles/>
- Brookins, D. G. (1988). Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=N4pfBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP11&dq=-Atlas+of+Eh+-+pH+diagrams&ots=x1ROSMTb6F&sig=ITXu-aMgzWL9PPcK1_-1PYC9Yyg#v=onepage&q=-Atlas%20of%20Eh%20-%20pH%20diagrams&f=false
- CIENCIAS BÁSICAS APLICADAS. (2000). Obtenido de CIENCIAS BÁSICAS APLICADAS: <https://sites.google.com/a/tecsup.edu.pe/fisica-basica/0-5-fenomeno-de-las-ondas/e-polarizacion>
- Dalence. (20012). *"MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL, PARA LA DETERMINACIÓN DE PLANOS DE INUNDACIÓN DE QUILLACOLLO"*. Obtenido de https://www.academia.edu/10212008/Modelamiento_Hidr%C3%A1ulico_Bidimensional_para_la_determinaci%C3%B3n_de_planos_de_inundaci%C3%B3n_de_Quillacollo_Cochabamba_-_Bolivia_
- Doncel, E. B. (2015). *Universidad COMPLUTENSE Madrid*. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/35985/19/EL%20%20GR%C3%81FICO%20%20DE%20%20CAJA.pdf>
- Dr.Martín Díaz, D. R. (2009). *GEOESTADISTICA APLICADA: Estimación Espacial*. Obtenido de http://mmc2.geofisica.unam.mx/cursos/gest/Presentaciones/CG6_2009.pdf

- EcuRed. (2000). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Ars%C3%A9nico>
- El Microorganismo. (13 de 10 de 2011). Obtenido de <http://elmicroorganismo.tumblr.com/page/4>
- Erazo. (1957).
- Erazo, M. (Enero de 1957). *Anales de la Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4552>
- Gaibor, D. &. (1997).
- García, C. G. (2008). *Geoestadística*. Obtenido de http://ocw.upm.es/proyectos-de-ingenieria/sistemas-de-informacion-geografica-tecnicas-cuantitativas-para-gestion-de-datos/contenidos/WEB/TEORIA/07exploracion_de_datos.pdf
- García, G. C. (Octubre de 2010). Obtenido de DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR GENERACIÓN DE VAPOR DE FRÍO Y DETECCIÓN VÍA ABSORCIÓN Y FLUORESCENCIA ATÓMICA: <http://159.90.80.55/tesis/000149413.pdf>
- Garro, M. G. (2016). Obtenido de Determicación de arsénico en agua por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruro: <http://www.revistacyt.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/08-Exactas/E-048.pdf>
- gestiopolis. (2000). Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/que-es-la-distribucion-normal/>
- Gibson. (1949). Obtenido de <http://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/Geoquimica/Intro%20exploracion%20geoquimica.htm>
- Gobierno de España. (2000). *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Obtenido de https://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx
- González, J. P. (10 de 2009). *Contaminación y Fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de Suelos y Agua*. Obtenido de Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo: <https://www.redalyc.org/html/939/93911243003/>
- Google maps . (2019). *GOOGLE*. Obtenido de <https://www.google.com/>
- Grandia, S. A. (2009). *Impacto del drenaje ácido de explotaciones mineras en la cuenca del Río Margarita y Embalse de Hatillo (República Dominicana)*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/286919666_DRENAJE_ACIDO_DE_ROCAS_EN_TALUDES_DE_LA_RUTA_NACIONAL_27_SAN_JOSE_-CALDERA_COSTA_RICA_ACID_ROCK_DRAINAGE_ON_SLOPES_FROM_ROUTE_27_SAN_JOSE_-CALDERA_COSTA_RICA

- Henao, R. G. (2000). *INTRODUCCION A LA GEOESTADISTICA*. Obtenido de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf
- Huijbregts, A. J. (1978). *Mining Geostatistics (By) AG Journal and Ch.J. Huijbregts*. New York.
- Jean-Yves Collot, V. S. (2009). *GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA MARINA Y TERRESTRE DEL ECUADOR*. Guayaquil : Comisión Nacional el Derecho del Mar.
- Lenntech B.V. (1998). *LENNTECH*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>
- Línea Base Proyecto Loma Larga. (2006). *Quimsacocha*. Giron.
- Luque, F. S. (2001). *Experimentos Científicos*. Obtenido de <https://www.experimentoscientificos.es/ph/escala-del-ph/>
- masmar. (23 de 10 de 2013). *Astronomia Nautica*. Obtenido de <http://www.masmar.net/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Nubosidad.-Visibilidad.-Simbolos-m%C3%A1s-usados-en-la-carta-del-tiempo>
- Merino, J., & R.M.Sáenz. (08 de 1973). *Junta de Energía Nuclear*. Obtenido de <https://www.ipen.br/biblioteca/rel/R33480.pdf>
- Nelly Mañay, G. C. (2001). *ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO*. Obtenido de <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/02ba23e6cc083af03bfc55ac63a98a0c.pdf>
- Origin 2019. (11 de Noviembre de 2017). *Software Científico y Técnico SCIENTEC*. Obtenido de <https://www.scientec.com.mx/origin/>
- Paulo Ruiz, A. A. (15 de 09 de 2015). *Revista Geológica de América Central, 53: 25-46, 2015DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146 ISSN: 0256-7024DRENAJE ÁCIDO DE ROCAS EN TALUDES DE LA RUTA NACIONAL 27, SAN JOSÉ - CALDERA, COSTA RICA*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/286919666_DRENAJE_ACIDO_DE_ROCAS_EN_TALUDES_DE_LA_RUTA_NACIONAL_27_SAN_JOSE_-_CALDERA_COSTA_RICA_ACID_ROCK_DRAINAGE_ON_SLOPES_FROM_ROUTE_27_SAN_JOSE_-CALDERA_COSTA_RICA
- Peralta, I. R. (2018). *Determinación de la Dispersión Geoquímica de Pb en Sedimentos de afluentes del área de incidencia del proyecto minero Loma Larga*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8227>
- Peréz, G. (2005). *ESPECTROMETRIA.COM*. Obtenido de https://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica
- Petitgas, P. (1996). *Geostatistics and their applications to fisheries survey data*.

- Portero, M. J. (2005). *Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de Características y usos de los diagramas de Pourbaix:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13708/Caracter%C3%ADsticas%20y%20usos.pdf>
- Portero, M. J. (s.f.). *Características y Usos de los Diagramas de Pourbaix. Univerdiad Politecnica de Valencia* . Obtenido de
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13708/Caracter%C3%ADsticas%20y%20usos.pdf>
- Pratt. (1997).
- Ptable. (2000). Obtenido de <https://www.ptable.com/?lang=es>
- Puerta, I. M., & Bravo, J. R. (2011). *ArcGIS Basico*. Obtenido de <https://actswithscience.com/Descargas/ManualArcGis.pdf>
- R. Salminen, T. T. (1998). *GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND*. Obtenido de http://tupa.gtk.fi/julkaisu/opas/op_047.pdf
- Rodríguez, M. (30 de Marzo de 2015). *Academy*. Obtenido de <https://www.qvision.es/blogs/manuel-rodriguez/2015/03/30/interpretacion-de-los-graficos-de-caja-en-el-analisis-descriptivo-e-inferencial/>
- Romero, I. C. (12 de 11 de 2016). *LA GEOLOGÍA Y LA HISTORIA DE COLISIÓN EN EL MESOZOICO DE LA CORDILLERA REAL, ECUADOR*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/cwrc3/la-geologa-y-la-historia-de-colisin-en-el-mesozoico-de-la-cordillera-real-ecuador>
- Sandoval, C. D. (17 de 02 de 2015). *Universidad Politecnica Salesiana* . Obtenido de GEOLOGÍA DEL ECUADOR:
<https://es.scribd.com/document/272110333/Geologia-Del-Ecuador-RESUMEN>
- SGM. (2000). *Servicio Geológico Mexicano*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157795/Que-es-la-Geoquimica.pdf>
- Suárez, I. F. (2013). *Refractometría y Polarimetría*. Obtenido de <file:///D:/USUARIO/Downloads/refractometria-y-polarimetria-2013-051942-1..pdf>
- Suárez, P. R. (15 de 09 de 2015). *DRENAJE ÁCIDO DE ROCAS EN TALUDES DE LA RUTA NACIONAL 27, SAN JOSÉ - CALDERA, COSTA RICA*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/286919666_DRENAJE_ACIDO_DE_ROCAS_EN_TALUDES_DE_LA_RUTA_NACIONAL_27_SAN_JOSE_-CALDERA_COSTA_RICA_ACID_ROCK_DRAINAGE_ON_SLOPES_FROM_ROUTE_27_SAN_JOSE_-CALDERA_COSTA_RICA
- Takeno, N. (2005). *Atlas of Eh-pH diagrams*. Japon.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. (1969). *Survey of metallic and non-metallic minerals*. Obtenido de https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/200K_r/CORD%20OCCIDENTAL%20-3S_1998/PDF_JPG_IMPRESION/MAPA_GEOL_2_3_S_reducido.pdf

Universidad Nacional Autónoma de México. (2000). Obtenido de Histogramas: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/Laboratoriovirtualdeestadistica/DOCUMENTOS/TEMA%201/7.%20HISTOGRAMAS.pdf>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA). (2017). Obtenido de <https://www.docsity.com/es/kriging-simple-y-kriging-ordinario/2291085/>

University of Cape Town South Africa. (Marzo de 1994). *Department of Microbiology*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC372952/>

W T Pratt, J. F. (10 de Noviembre de 1997). *MAPA GEOLOGICO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL EL ECUADOR ENTRE 3° - 4° S*. Obtenido de https://www.geoinvestigacion.gob.ec/mapas/200K_r/CORDILLERA%20OCCIDENTAL%20-1S.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de concentración de las muestras de Plomo, Cadmio y Zinc

Análisis	Unidades	Límites de detección
Plomo	ppb	8 ppb

Cadmio	ppb	8 ppb
Zinc	ppb	8 ppb

Nº muestra	X	Y	Cuenca	Código	Concentración Plomo	Concentración Cadmio	Concentración Zinc
1	698790	9664088	IRQUIS	AIRQ-01	< ld	< ld	231,32
2	698604	9664304	IRQUIS	AIRQ-02	17,98	< ld	175,72
3	698448	9664426	IRQUIS	AIRQ-03	< ld	< ld	81,66
4	698879	9663445	IRQUIS	BIRQ-01	< ld	< ld	120,5
5	698873	9663469	IRQUIS	BIRQ-02	< ld	< ld	115,83
6	698439	9663556	IRQUIS	BIRQ-03	< ld	< ld	132,73
7	698978	9663268	IRQUIS	CIRQ-01	< ld	< ld	276,92
8	699208	9662987	IRQUIS	CIRQ-02	< ld	< ld	157,33
9	699394	9662875	IRQUIS	CIRQ-03	< ld	13,06	66,26
10	694007	9663031	CRATER	ACRA-01	< ld	< ld	47,5
11	694155	9663026	CRATER	ACRA-02	< ld	< ld	48,04
12	694583	9662867	CRATER	ACRA-03	< ld	< ld	109,96
13	695200	9663302	CRATER	ACRA-04	< ld	< ld	111,92
14	695459	9663305	CRATER	ACRA-05	< ld	10,63	95,99
15	695599	9663263	CRATER	ACRA-06	< ld	< ld	108,29
16	695882	9663265	CRATER	ACRA-07	< ld	< ld	100,28
17	696561	9664886	CRATER	BCRA-01	< ld	< ld	91,8
18	696775	9664605	CRATER	BCRA-02	< ld	< ld	141,46
19	696741	9664462	CRATER	BCRA-03	< ld	< ld	362,03
20	696774	9664255	CRATER	BCRA-04	< ld	< ld	142,4
21	696982	9663613	CRATER	BCRA-05	< ld	< ld	30,45
22	697035	9663482	CRATER	BCRA-06	< ld	< ld	108,25
23	696573	9661471	CASCO	AZHR-01	< ld	< ld	126,37
24	696214	9661338	CASCO	AZHR-02	< ld	< ld	136,19
25	696045	9661040	CASCO	AZHR-03	< ld	< ld	135,95
26	695897	9660864	CASCO	AZHR-04	< ld	< ld	90,52
27	695913	9660836	CASCO	AZHR-05	< ld	< ld	33,66
28	695747	9660288	CASCO	AZHR-06	< ld	< ld	38,72
29	695619	9659849	CASCO	AZHR-07	< ld	< ld	42,45
30	695381	9659716	CASCO	AZHR-08	< ld	< ld	19,23

31	695563	9659596	CASCO	AZRH-09	< ld	< ld	43,6
32	697752	9662196	COLLANCAY	BCLC-01	< ld	< ld	55,31
33	697654	9662050	COLLANCAY	BCLC-02	< ld	< ld	23,83
34	697771	9661649	COLLANCAY	BCLC-03	< ld	< ld	70,14
35	698869	9661650	COLLANCAY	BCLC-04	< ld	< ld	245,05
36	698944	9661105	COLLANCAY	BCLC-05	< ld	< ld	190,03
37	698978	9661011	COLLANCAY	BCLC-06	< ld	< ld	236,96
38	698911	9661031	COLLANCAY	BCLC-07	< ld	< ld	68,02
39	698458	9660880	COLLANCAY	BCLC-08	< ld	< ld	60,22
40	698494	9661072	COLLANCAY	BCLC-09	< ld	< ld	41,73
41	696622	9666308	BERMEJOS	BBER-01	< ld	< ld	16,34
42	696487	9666833	BERMEJOS	BBER-02	< ld	< ld	20,19
43	696683	9667359	BERMEJOS	BBER-03	64,11	< ld	26,27
44	696705	9667678	BERMEJOS	BBER-04	49,19	< ld	67,51
45	696705	9667982	BERMEJOS	BBER-05	< ld	< ld	45,12
46	697411	9669845	BERMEJOS	BBER-06	< ld	< ld	87,57
47	695983	9671392	BERMEJOS	BBER-09	< ld	< ld	67,4
48	696179	9671729	BERMEJOS	BBER-10	< ld	< ld	75,19
49	695932	9672378	BERMEJOS	BBER-11	< ld	< ld	10,14
50	695865	9673221	BERMEJOS	BBER-12	< ld	< ld	48,85
51	698264	9665195	SHACA	ASHA-01	< ld	< ld	11,37
52	699119	9665181	SHACA	ASHA-02	< ld	< ld	32,24
53	701036	9665795	SHACA	ASHA-03	< ld	< ld	47,53
54	700937	9665761	SHACA	ASHA-04	< ld	< ld	47,95
55	700696	9665759	SHACA	ASHA-05	< ld	< ld	71,63
56	700348	9665585	SHACA	ASHA-06	< ld	< ld	55,99
57	700307	9665594	SHACA	ASHA-07	< ld	< ld	50,4
58	699040	9663042	IRQUIS	AIRQ-02-01	< ld	< ld	61,23
59	699730	9662618	IRQUIS	AIRQ-02-02	< ld	< ld	49,64
60	699974	9662680	IRQUIS	AIRQ-02-03	< ld	< ld	47,41
61	700117	9662296	IRQUIS	AIRQ-02-04	< ld	< ld	24,43
62	700166	9662306	IRQUIS	AIRQ-02-05	< ld	< ld	41,1
63	700492	9661934	IRQUIS	AIRQ-02-06	< ld	< ld	12,11
64	700493	9661914	IRQUIS	AIRQ-02-07	< ld	< ld	31,32
65	701005	9662247	IRQUIS	AIRQ-02-08	< ld	< ld	22,27
66	703478	9660380	IRQUIS	AIRQ-03-01	< ld	< ld	41,35
67	703580	9660067	IRQUIS	AIRQ-03-02	< ld	< ld	46,24

68	703667	9660044	IRQUIS	AIRQ-03-03	< ld	< ld	56,9
69	706817	9660593	IRQUIS	BIRQ-03-01	< ld	< ld	23,35
70	707315	9660639	IRQUIS	BIRQ-03-02	< ld	< ld	24,24
71	708380	9660984	IRQUIS	BIRQ-03-03	< ld	< ld	38,28
72	709529	9660862	IRQUIS	BIRQ-03-04	< ld	< ld	24,93
73	704970	9659775	IRQUIS	BIRQ-03-05	< ld	< ld	26,55
74	697787	9658862	ALUMBRE	BALU-01	< ld	< ld	119,78
75	698032	9658732	ALUMBRE	BALU-02	< ld	< ld	46,6
76	698179	9658674	ALUMBRE	BALU-03	< ld	< ld	51,44
77	699294	9658556	ALUMBRE	BALU-04	< ld	< ld	42,45
78	699687	9657940	ALUMBRE	BALU-05	< ld	< ld	48,47
79	700073	9657570	ALUMBRE	BALU-06	< ld	< ld	45,5
80	698222	9658479	ALUMBRE	BALU-07	< ld	< ld	60,41
81	698994	9658520	CANAL	CSG-01	< ld	< ld	33,84
82	711319	9660617	IRQUIS	IRQ-04-01	< ld	< ld	35,15
83	711390	9660589	IRQUIS	IRQ-04-02	< ld	< ld	41,47
84	711501	9660628	IRQUIS	IRQ-04-03	< ld	< ld	43,73
85	711589	9660601	IRQUIS	IRQ-04-04	< ld	< ld	46,63
86	711779	9660410	IRQUIS	IRQ-04-05	< ld	< ld	55,4
87	711984	9660193	IRQUIS	IRQ-04-06	< ld	< ld	39,78
88	712216	9660038	IRQUIS	IRQ-04-07	< ld	< ld	35,39
89	712430	9659866	IRQUIS	IRQ-04-08	< ld	< ld	53,26
90	712705	9659698	IRQUIS	IRQ-04-09	< ld	< ld	33,75
91	713331	9659527	IRQUIS	IRQ-04-10	< ld	< ld	47,76
92	708855	9656745	PORTETE	PO-01	< ld	< ld	66,34
93	705475	9656279	PORTETE	PO-02	< ld	< ld	34,61
94	704679	9658906	PORTETE	PO-03	< ld	< ld	32,38
95	704143	9658545	PORTETE	PO-04	< ld	< ld	43,91
96	707305	9656151	PORTETE	PO-05	< ld	< ld	58,86
97	709445	9656942	PORTETE	PO-08	< ld	< ld	62,4
98	709868	9656764	PORTETE	PO-09	< ld	< ld	66,66
99	711717	9657725	PORTETE	PO-10	< ld	< ld	75,12
100	712251	9658093	PORTETE	PO-11	< ld	< ld	52,46

Anexo 2. Resultado de concentración de las muestras de Arsénico y Mercurio

Análisis	Unidades	Límites de detección
Arsénico	ppb	0,56 ppb

Mercurio	ppb	3,12 ppb
----------	-----	----------

Nº muestra	X	Y	Cuenca	Código	Concentración Arsénico	Concentración Mercurio
1	698790	9664088	IRQUIS	AIRQ-01	< ld	< ld
2	698604	9664304	IRQUIS	AIRQ-02	< ld	< ld
3	698448	9664426	IRQUIS	AIRQ-03	< ld	< ld
4	698879	9663445	IRQUIS	BIRQ-01	< ld	< ld
5	698873	9663469	IRQUIS	BIRQ-02	< ld	< ld
6	698439	9663556	IRQUIS	BIRQ-03	< ld	< ld
7	698978	9663268	IRQUIS	CIRQ-01	< ld	< ld
8	699208	9662987	IRQUIS	CIRQ-02	< ld	< ld
9	699394	9662875	IRQUIS	CIRQ-03	< ld	< ld
10	694007	9663031	CRATER	ACRA-01	< ld	< ld
11	694155	9663026	CRATER	ACRA-02	< ld	< ld
12	694583	9662867	CRATER	ACRA-03	< ld	< ld
13	695200	9663302	CRATER	ACRA-04	< ld	< ld
14	695459	9663305	CRATER	ACRA-05	< ld	< ld
15	695599	9663263	CRATER	ACRA-06	< ld	< ld
16	695882	9663265	CRATER	ACRA-07	< ld	< ld
17	696561	9664886	CRATER	BCRA-01	< ld	< ld
18	696775	9664605	CRATER	BCRA-02	< ld	< ld
19	696741	9664462	CRATER	BCRA-03	< ld	< ld
20	696774	9664255	CRATER	BCRA-04	< ld	< ld
21	696982	9663613	CRATER	BCRA-05	< ld	< ld
22	697035	9663482	CRATER	BCRA-06	< ld	< ld
23	696573	9661471	CASCO	AZHR-01	< ld	< ld
24	696214	9661338	CASCO	AZHR-02	< ld	< ld
25	696045	9661040	CASCO	AZHR-03	< ld	< ld
26	695897	9660864	CASCO	AZHR-04	< ld	< ld
27	695913	9660836	CASCO	AZHR-05	< ld	< ld
28	695747	9660288	CASCO	AZHR-06	< ld	< ld
29	695619	9659849	CASCO	AZHR-07	< ld	< ld
30	695381	9659716	CASCO	AZHR-08	< ld	< ld
31	695563	9659596	CASCO	AZRH-09	< ld	< ld
32	697752	9662196	COLLANCAY	BCLC-01	< ld	< ld
33	697654	9662050	COLLANCAY	BCLC-02	< ld	< ld

34	697771	9661649	COLLANCAY	BCLC-03	< ld	< ld
35	698869	9661650	COLLANCAY	BCLC-04	< ld	< ld
36	698944	9661105	COLLANCAY	BCLC-05	< ld	< ld
37	698978	9661011	COLLANCAY	BCLC-06	< ld	< ld
38	698911	9661031	COLLANCAY	BCLC-07	< ld	< ld
39	698458	9660880	COLLANCAY	BCLC-08	< ld	< ld
40	698494	9661072	COLLANCAY	BCLC-09	< ld	< ld
41	696622	9666308	BERMEJOS	BBER-01	2,09	< ld
42	696487	9666833	BERMEJOS	BBER-02	< ld	< ld
43	696683	9667359	BERMEJOS	BBER-03	< ld	< ld
44	696705	9667678	BERMEJOS	BBER-04	< ld	< ld
45	696705	9667982	BERMEJOS	BBER-05	< ld	< ld
46	697411	9669845	BERMEJOS	BBER-06	< ld	< ld
47	695983	9671392	BERMEJOS	BBER-09	< ld	< ld
48	696179	9671729	BERMEJOS	BBER-10	< ld	< ld
49	695932	9672378	BERMEJOS	BBER-11	< ld	< ld
50	695865	9673221	BERMEJOS	BBER-12	< ld	< ld
51	698264	9665195	SHACA	ASHA-01	< ld	< ld
52	699119	9665181	SHACA	ASHA-02	< ld	< ld
53	701036	9665795	SHACA	ASHA-03	< ld	< ld
54	700937	9665761	SHACA	ASHA-04	< ld	< ld
55	700696	9665759	SHACA	ASHA-05	< ld	< ld
56	700348	9665585	SHACA	ASHA-06	< ld	< ld
57	700307	9665594	SHACA	ASHA-07	< ld	< ld
58	699040	9663042	IRQUIS	AIRQ-02-01	< ld	< ld
59	699730	9662618	IRQUIS	AIRQ-02-02	< ld	< ld
60	699974	9662680	IRQUIS	AIRQ-02-03	< ld	< ld
61	700117	9662296	IRQUIS	AIRQ-02-04	1,38	< ld
62	700166	9662306	IRQUIS	AIRQ-02-05	1,38	< ld
63	700492	9661934	IRQUIS	AIRQ-02-06	1,38	< ld
64	700493	9661914	IRQUIS	AIRQ-02-07	0,75	< ld
65	701005	9662247	IRQUIS	AIRQ-02-08	0,75	< ld
66	703478	9660380	IRQUIS	AIRQ-03-01	2	< ld
67	703580	9660067	IRQUIS	AIRQ-03-02	0,75	< ld
68	703667	9660044	IRQUIS	AIRQ-03-03	0,75	< ld
69	706817	9660593	IRQUIS	BIRQ-03-01	1,38	< ld
70	707315	9660639	IRQUIS	BIRQ-03-02	1,38	< ld

71	708380	9660984	IRQUIS	BIRQ-03-03	1,38	< ld
72	709529	9660862	IRQUIS	BIRQ-03-04	< ld	< ld
73	704970	9659775	IRQUIS	BIRQ-03-05	2,62	< ld
74	697787	9658862	ALUMBRE	BALU-01	< ld	< ld
75	698032	9658732	ALUMBRE	BALU-02	0,75	< ld
76	698179	9658674	ALUMBRE	BALU-03	1,38	< ld
77	699294	9658556	ALUMBRE	BALU-04	1,38	< ld
78	699687	9657940	ALUMBRE	BALU-05	0,75	< ld
79	700073	9657570	ALUMBRE	BALU-06	1,38	< ld
80	698222	9658479	ALUMBRE	BALU-07	1,38	< ld
81	698994	9658520	CANAL	CSG-01	0,75	< ld
82	711319	9660617	IRQUIS	IRQ-04-01	0,75	< ld
83	711390	9660589	IRQUIS	IRQ-04-02	1,38	< ld
84	711501	9660628	IRQUIS	IRQ-04-03	2	< ld
85	711589	9660601	IRQUIS	IRQ-04-04	0,75	< ld
86	711779	9660410	IRQUIS	IRQ-04-05	0,75	< ld
87	711984	9660193	IRQUIS	IRQ-04-06	0,75	< ld
88	712216	9660038	IRQUIS	IRQ-04-07	1,38	< ld
89	712430	9659866	IRQUIS	IRQ-04-08	< ld	< ld
90	712705	9659698	IRQUIS	IRQ-04-09	0,75	< ld
91	713331	9659527	IRQUIS	IRQ-04-10	0,75	< ld
92	708855	9656745	PORTETE	PO-01	0,75	< ld
93	705475	9656279	PORTETE	PO-02	0,75	< ld
94	704679	9658906	PORTETE	PO-03	0,75	< ld
95	704143	9658545	PORTETE	PO-04	0,75	< ld
96	707305	9656151	PORTETE	PO-05	1,38	< ld
97	709445	9656942	PORTETE	PO-08	0,75	< ld
98	709868	9656764	PORTETE	PO-09	0,75	< ld
99	711717	9657725	PORTETE	PO-10	< ld	< ld
100	712251	9658093	PORTETE	PO-11	0,75	< ld

Anexo 3. Coordenadas de toma de muestra de bacterias

Nº Muestra	X	Y	Código	Zona de Muestreo
------------	---	---	--------	------------------

1	694864	9662383	CB-01	CRATER
2	694728	9662504	CB-02	CRATER
3	697661	9662177	BMB-03	BOCA MINA
4	697879	9660135	ALB-01-04	ALUMBRE
5	697704	9658902	ALB-02-05	ALUMBRE
6	698403	9656848	ALB-06-03	ALUMBRE
7	698406	9656831	ALB-07-04	ALUMBRE
8	697804	9655547	ALB-08-05	ALUMBRE
9	696027	9653947	ALB-09-06	ALUMBRE

Anexo 4. Registro fotográfico

Foto 1. Ubicación de coordenadas con GPS de agua



Foto 2. Toma de muestras de agua



Foto 3. Etiquetado de agua



Foto 4. Ubicación de coordenadas con GPS de bacterias



Foto 5. Toma de muestras de Bacterias



Foto 6. Preparación de muestras para el cultivo de bacterias

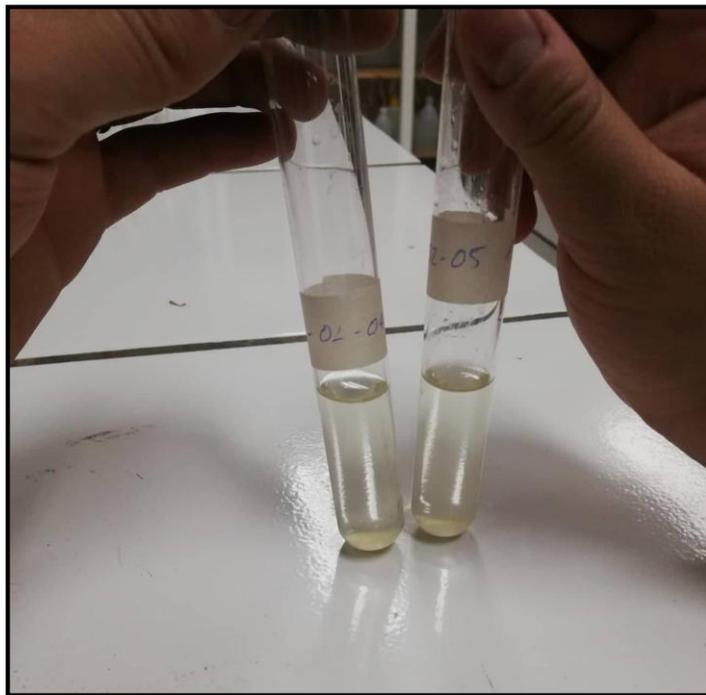


Foto 7. Medición de pH



Foto 8. Resultados finales del análisis de bacterias

