

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y
DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA
ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE
YANACocha”**

Presentada por:

JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS**

LIMA – PERÚ

2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**“MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y
DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA
ARSENICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE
YANACOCHA”**

Presentada por:

JORGE EDUARDO HINOSTROZA RIVERA

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE
EN SUELOS**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. ~~Sz~~ Víctor Miyashiro Kiyari

PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Juan Guerrero Barrantes

ASESOR

Ing. Mg. Sc. Julio Nazario Rios

MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Rubén Bazán Tapia

MIEMBRO

LIMA, PERÚ

ÁGECF

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a la empresa Minera Yanacocha S.R.L., ya que me proporcionó la información de línea base requerida para la elaboración de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	INFORMACIÓN GENERAL DE YANACOCHA.....	3
2.1.1.	UBICACIÓN.....	3
2.1.2.	USO HISTÓRICO DE LAS TIERRAS	4
2.1.3.	GEOLOGÍA REGIONAL Y MINERALIZACIÓN DE YANACOCHA	5
2.1.4.	GEOLOGÍA LOCAL.....	10
2.1.5.	ALTERACIONES Y MINERALIZACIÓN	16
2.1.6.	MINERALIZACIÓN ECONÓMICA Y AS EN CERRO YANACOCHA.....	18
2.1.7.	GEOMORFOLOGÍA	22
2.1.8.	GEODINÁMICA EXTERNA	25
2.1.9.	FISIOGRAFÍA	27
2.1.10.	SUELOS	29
2.2.	CONTEXTO TEÓRICO.....	31
2.2.1.	ANÁLISIS GEOESTADÍSTICOS	31
2.2.2.	NIVELES DE FONDO	32
2.2.3.	GEOQUÍMICA DEL AS	33
2.2.4.	ALTERACIONES EPITERMALES	37
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1.	MATERIALES	39
3.2.	MÉTODO	39
3.2.1.	PRELIMINAR	41
3.2.2.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE FONDO.....	44
3.3.	FACTORES DE ESTUDIO.....	45
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE FONDO.....	46
4.2. CORRELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES ALTAS DE AS TOTAL EN TOPSOIL.....	49
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sectores operativos.....	5
Tabla 2: Clasificación taxonómica de suelos (Soil Taxonomy, 2014).....	30
Tabla 3: Rangos típicos de concentraciones de As en los minerales formadores de roca.....	34
Tabla 4: Rangos típicos de concentraciones de As en rocas, sedimentos, suelos y otros depósitos superficiales	35
Tabla 5: Fuentes de información.....	41
Tabla 6: Concentración de As total en el Topsoil de Yanacocha.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de Yanacocha.....	3
Figura 2: Yanacocha antes del inicio de actividades de explotación (1991)	4
Figura 3: Geología Regional.....	7
Figura 4: Ubicación de Cerro Yanacocha.....	19
Figura 5: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, sección transversal 14500.....	20
Figura 6: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, sección transversal 14900.....	20
Figura 7: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, vista 3600 m s.n.m.	21
Figura 8: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, vista 3800 m s.n.m.	21
Figura 9: Esquema geológico de las alteraciones hidrotermales	38
Figura 10 Flujograma de la metodología para determinación del nivel de fondo y distribución de As total en el topsoil de Yanacocha	40
Figura 11: Gráfico de probabilidad e histogramas de distribución antes y después de la normalización por transformación logarítmica.	47
Figura 12: Gráfica general para identificación de valores atípicos.....	48
Figura 13: Litología local - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias en As total al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo.	51
Figura 14: Alteraciones hidrotermales - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias en As total al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo.....	52
Figura 15: Concentración de As en afloramientos - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo en As total.....	53
Figura 16: Concentración de As total en suelo sub superficial - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo en As total.	54

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1: Componentes de Yanacocha.....	69
Anexo 2: Geología de Yanacocha.....	71
Anexo 2-1: Mapa de Litología Local	72
Anexo 2-2: Mapa de Alteraciones Hidrotermales.....	73
Anexo 3: Perfiles de suelo de Yanacocha	74
Anexo 4: Base de datos	98
Anexo 5: Mapas	112
Anexo 5-1: Cateos Exploratorios en Afloramientos Rocosos.....	113
Anexo 5-2: Ubicación de Cateos y Muestras de Topsoil	114
Anexo 5-3: Arsénico Total en Topsoil.....	115
Anexo 5-4: Isoconcentraciones de As Total en Afloramientos.....	121
Anexo 5-5: Distribución de Carbono Orgánico en Topsoil	125
Anexo 5-6: Distribución de pH en Topsoil	127
Anexo 5-7: Hierro Total en el Topsoil.....	129
Anexo 5-8: Aluminio Total en el Topsoil	131
Anexo 5-9: Distribución de Arcilla en Topsoil	133
Anexo 5-10: Distribución de la CIC en Topsoil.....	135

RESUMEN

Los objetivos de esta investigación son determinar los niveles de fondo para arsénico (As) y modelar isoconcentraciones en el suelo superficial no intervenido de Minera Yanacocha S.R.L. (Yanacocha). La normativa peruana Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, incluye al As como un parámetro de interés para la salud y el medio ambiente, y define como nivel de fondo la concentración en el suelo de los químicos regulados que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural. Considerando que actualmente no existe una metodología única utilizada para establecer niveles de fondo para As en el suelo y que la distribución de las concentraciones de los elementos son principalmente influenciados por la naturaleza del material parental y parámetros edáficos como: pH, carbono orgánico, arcilla, capacidad de intercambio catiónico, hierro y aluminio total en el suelo superficial (0-0.1m); se planteó recopilar información histórica de línea base de suelos y de exploraciones geológicas en el predio de Yanacocha, relacionando mediante métodos estadísticos y geoestadísticos; la geología, información edáfica y concentraciones georeferenciadas de As en suelo de Yanacocha. El tratamiento estadístico de las concentraciones históricas de As consideró la prueba de normalidad de Anderson-Darling y el test de Grubbs, con este se determinó con 95% de confianza que la información proviene de una sola población de datos, sin presencia de datos atípicos, asimismo mediante estadísticos descriptivos se determinó el nivel de fondo de As en Topsoil: 2 a 836 mg/kg. La distribución de As evidenció que este se encuentra en mayores concentraciones en áreas con características geológicas: material de origen volcánico o morrénico, concentraciones de As en afloramientos rocosos >140 mg/kg, presencia de alteraciones hidrotermales, cercanía a fallas geológicas locales; en Topsoil: pH 3.6 a 4.5, Carbono orgánico >2.32 %, y concentraciones de Fe >20,000 mg/kg.

Palabras clave: Arsénico, concentración, fondo, geoestadístico, geología, nivel, suelo, Yanacocha.

ABSTRACT

The objectives of this research are to determine the background levels for arsenic (As) and to model isoconcentrations in the undisturbed surface soil of Minera Yanacocha S.R.L (Yanacocha). Peruvian regulation, Supreme Decree N° 011-2017-MINAM, includes arsenic (As) as a parameter of interest for health and environment and defines as a background level the concentration of controlled substances on soil that were not generated for the activity of analysis and there are naturally on soil. Considering that there is no only one method used to establish background levels for arsenic on soil and distributions of elements concentrations are main influenced by parent material and edaphic parameters as: pH, organic carbon, clay, cation exchange capacity, iron and total aluminum on the top soil (0-0.1m), it was proposed to gather historical information of baseline of soil and geological explorations on the property of Minera Yanacocha S.R.L (Yanacocha), relating trough statistical and geostatistical methods; geology, edaphic information and georeferenced concentrations of As on the soil of Yanacocha. The statistic treatment of historical concentrations of As considered the Anderson-Darling Normality test and the Grubbs test, with these ones, it was determined with 95% of confidence that the information comes from one data base, without presence of atypical information, as well, trough statistical descriptions was determined the background level of As in Topsoil: 2 to 836 mg/kg. The distribution of As showed that is in higher concentrations on areas with geological characteristics: material of volcanic origin or moraine, concentrations of As on rocky formations >140 mg/kg, presence of hydrothermal alteration, proximity to local faults; on Topsoil: pH 3.6 to 4.5, Organic carbon >2.32% and concentrations of Fe >20,000 mg/kg.

Keywords: Arsenic, concentration, background, geostatistical, geology, level, soil, Yanacocha.

I. INTRODUCCIÓN

Minera Yanacocha S.R.L. (Yanacocha), es la mina de Au más grande de Sudamérica, se encuentra ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 800 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima, Perú (Yanacocha 2015), la producción de Yanacocha no se limita únicamente al Au, también producen Cu y Ag. El depósito de Yanacocha se encuentra ubicado en la parte norte del cinturón orogénico andino que atraviesa Perú en toda su longitud, el cual está formado principalmente por rocas sedimentarias del mesozoico y rocas volcánicas del terciario. La zona mineralizada de Yanacocha está ubicada a lo largo de una perturbación de escala regional de este cinturón orogénico, la cual presenta múltiples fallas y alteraciones hidrotermales de alta sulfuración (Yanacocha 2013).

En todo Yanacocha existe la presencia de material de origen volcánico, ya sea en deposiciones fluvioglaciares o en afloramientos rocosos (Yanacocha 2013). En ese sentido, se puede deducir que los procesos pedogenéticos locales, originaron suelos con características heredadas del material parental que les dio origen. Una de estas características es el contenido de metales y metaloides, uno de ellos es el As (Yanacocha 2015), el cual no tiene importancia comercial para Yanacocha, pero si es importante para el medio ambiente.

Según lo establecido por la normativa peruana Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Suelo), se incluye al As como un parámetro de interés para la salud y el medio ambiente, y define como nivel de fondo la concentración en el suelo de los químicos regulados que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural.

Asimismo, Yanacocha está comprometida con el cuidado ambiental del área donde opera. Como uno de sus compromisos socio-ambientales, establecidos en los Estudios de Impacto Ambiental y en el Plan de Cierre de Minas, Yanacocha requiere la actualización periódica de los estudios que sirven de base para la planificación de las acciones ambientales (Yanacocha 2010).

La gran relevancia que tiene actualmente a nivel mundial el tema medioambiental ha hecho que se encaminen esfuerzos en el desarrollo de técnicas apropiadas para el análisis de información enmarcada dentro de este contexto (UNAL 2010).

Por estos motivos es relevante conocer la distribución de las concentraciones naturales de As en el Topsoil^{1,2} no intervenido de Yanacocha, ya que la revisión de la información histórica de los cateos exploratorios y monitoreos de suelo en zonas no intervenidas, evidencian presencia y heterogeneidad de las concentraciones de As en suelo y roca en estas áreas.

El presente trabajo de investigación científica correlacional, pretende establecer las relaciones que existen entre la geología local, las propiedades edáficas y las concentraciones totales (mg/kg) de As en el Topsoil no intervenido de Yanacocha; mediante la elaboración de mapas de distribuciones, determinación de los niveles de fondo y determinación del grado de relación entre la geología y las propiedades edáficas con el As; procesando la información de línea base de suelo y de exploraciones geológicas de Yanacocha, para realizar métodos estadísticos y geoestadísticos.

¹ La parte superior del suelo, que es el material más favorable para el crecimiento de las plantas. Por lo general, es rica en materia orgánica y se utiliza para remodelar viales, céspedes y tierras afectadas por la minería (USDA 2015).

² La parte superior de un suelo natural que generalmente es de color oscuro y tiene un mayor contenido de materia orgánica y nutrientes, en comparación con los horizontes (minerales) siguientes. Excluye la capa de hojarasca (FAO 2015).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. INFORMACIÓN GENERAL DE YANACOCHA

2.1.1. Ubicación

Yanacocha se ubica en Perú, aproximadamente a 800 km al norte de Lima y a 45 km al norte de la ciudad de Cajamarca, en la cordillera de los Andes, entre 3,400 y 4,222 m s.n.m. en las coordenadas UTM referenciales Este 770 818 y Norte 9 226 486 (Datum WGS 84, zona 17). El área de operaciones se encuentra en la eco región Jalca y Puna entre cuatro subcuentas: río Rejo, río Grande, quebrada Honda y río Azufre (Yanacocha 2015).^X(Figura 1). ??

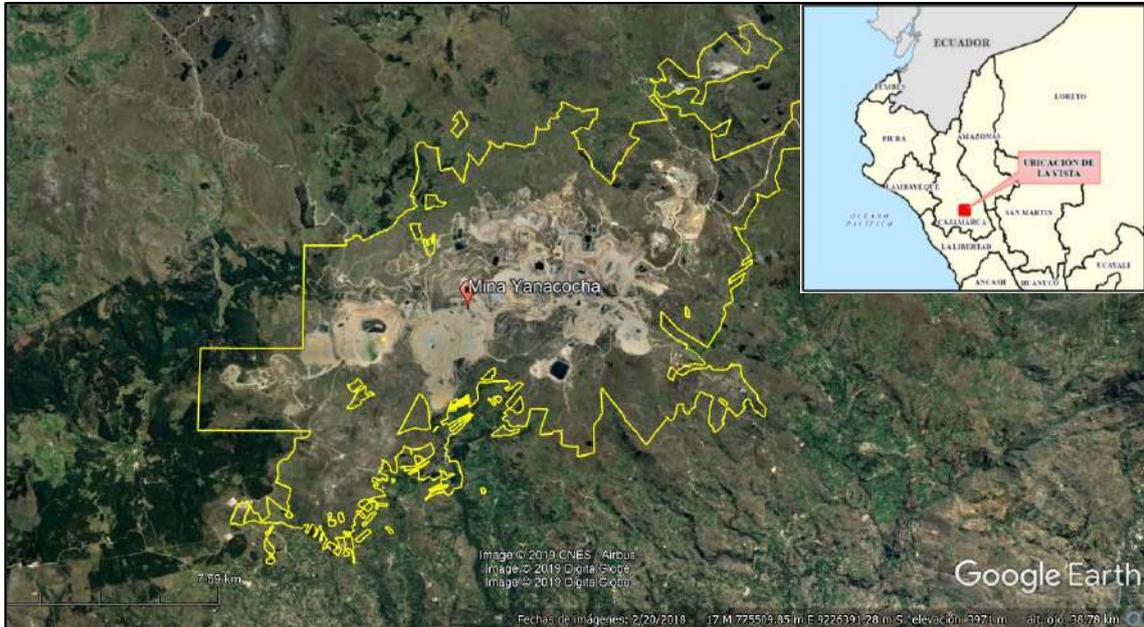


Figura 1: Ubicación de Yanacocha.

2.1.2. Uso histórico de las tierras

El nacimiento de Yanacocha se remonta al año 1980, cuando el geólogo francés Pierre Maruéjol descubrió los yacimientos auríferos, luego las exploraciones iniciales fueron realizadas por Newmont en 1982. Sin embargo, Yanacocha inició sus actividades en el año 1990, cuando se efectuaron los primeros estudios de factibilidad; en 1992 fue constituida legalmente y no fue hasta el 07 de agosto de 1993 cuando se exhibió la primera barra de doré³ producida (Yanacocha 2015).^x(Figura 2). ??

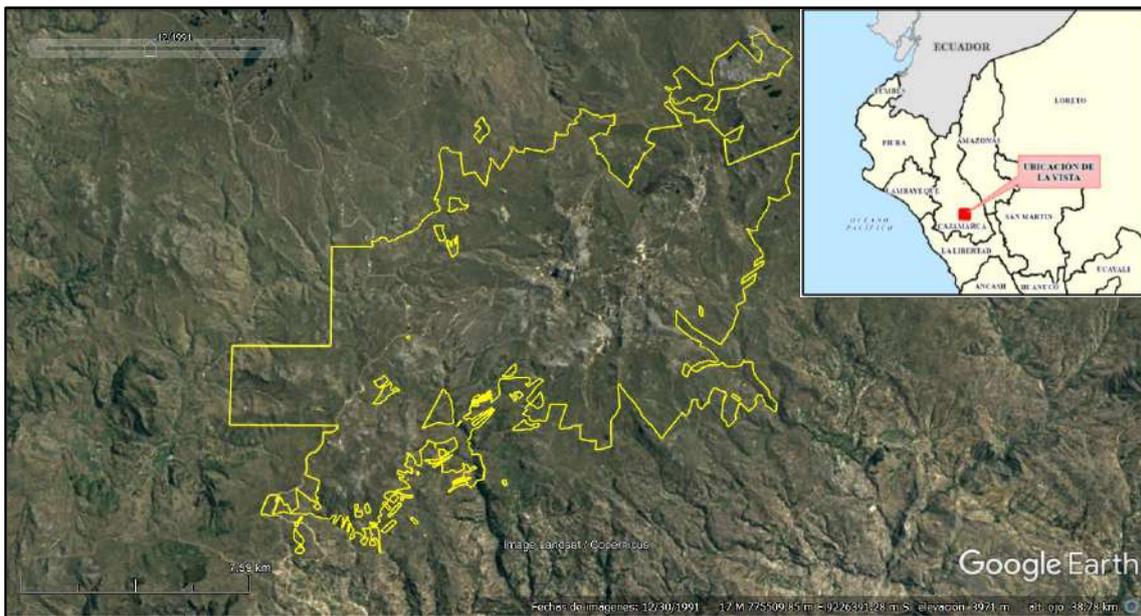


Figura 2: Yanacocha antes del inicio de actividades de explotación (1991)

FUENTE: Imágenes históricas de Google Earth.

En la actualidad las operaciones de Yanacocha se encuentra en etapa de producción, sus actividades están sectorizadas, las mismas que han sido determinadas según el crecimiento y expansión de los proyectos; está conformada por cuatro sectores y cinco subsectores que explotan el mineral a cielo abierto, los cuales son: Carachugo, Maqui Maqui, Cerro Yanacocha, La Quinua y Cerro Negro. Cada uno de estos yacimientos es explotado, a su vez en áreas de trabajo, algunos de los cuales están activos y otros en proceso de cierre

³ Una barra doré es un lingote de aleación de oro y plata con un porcentaje menor de otros elementos químicos (metal doré).

progresivo (Yanacocha 2015). En el Anexo 1 se presenta el plano de componentes de Yanacocha y la sectorización de la minera.

Tabla 1: Sectores operativos

Sector	Año de inicio de operaciones	Subsectores	Áreas de trabajo
Cerro Negro	2004	Cerro Negro	Cerro Negro Este Cerro Negro Oeste
Yanacocha Oeste	2001	La Quinoa	La Quinoa 1 La Quinoa 2 La Quinoa 3
	1997	Cerro Yanacocha	Yanacocha Norte Yanacocha Sur
	1994	Maqui Maqui	Maqui Maqui Chaquicocha
Yanacocha Este	1993	Carachugo	Carachugo San José
China Linda	1999	China Linda*	China Linda

* Cantera de roca caliza

FUENTE: Yanacocha (2015).

2.1.3. GEOLOGÍA REGIONAL Y MINERALIZACIÓN DE YANACOCHA

En minúscula (es un subtítulo) ??

El depósito de Yanacocha se encuentra ubicado en la parte Norte del cinturón Orogénico Andino que atraviesa Perú en toda su longitud el cual está formado principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico y rocas Volcánicas del Terciario. La zona mineralizada de Yanacocha está ubicada a lo largo de una perturbación de escala regional de este cinturón orogénico. Las orientaciones Noreste-Sureste de pliegues y sobrescurrimientos en las rocas sedimentarias del Cretáceo, son desviadas Este-Oeste a lo largo de la intersección con una zona estructural este-noreste trasandina, conocida con el nombre de corredor estructural Chicama-Yanacocha. Este corredor muestra tendencias estructurales a lo largo de unos 200 km de longitud comenzando en la costa Pacífica con un ancho de 30 a 40 km. Está definida por el desplazamiento de la línea de costa peruana, con múltiples fallas paralelas de orientación N50°E y el alineamiento este-noreste del depósito de Yanacocha.

Las rocas sedimentarias del Cretáceo son las unidades más antiguas en la región de Cajamarca. Un paquete basal de siliciclásticos se encuentra cubierto por la plataforma de rocas carbonatadas. No se conoce mineralización de alta sulfuración tipo Yanacocha en las rocas sedimentarias, pero muchos otros tipos de depósitos prospectados en la región están hospedados en estas rocas.

El basamento de rocas volcánicas Terciarias en la región de Cajamarca está conformada por flujos de lava, aglomerados de escombros volcánicos (debris flow) y secuencias volcanoclásticas de la Formación Llama, la cual ha sido datada en el Paleoceno. Las rocas de la formación Llama afloran al Sur del distrito y sobre estas se deposita el complejo volcánico de Yanacocha que esta correlacionada regionalmente con la formación volcánica Porculla.

El complejo volcánico Yanacocha es una intercalación de secuencias de flujos de lavas andesíticas y rocas piroclásticas que se superponen a la formación Llama a lo largo de un contacto transicional. A unos 10 km al noreste de Yanacocha se encuentra cubierto por ignimbritas, dacíticas y andesíticas de la formación Huambos (Miembro Fraylones).

Estas rocas sedimentarias y volcánicas están cortadas por intrusiones terciarias que ocurren de forma circular o elongadas a lo largo de una orientación Oeste-Noreste que corta por la margen este del distrito. Estas intrusiones han sido datadas como del Paleoceno al Mioceno (Figura 3).

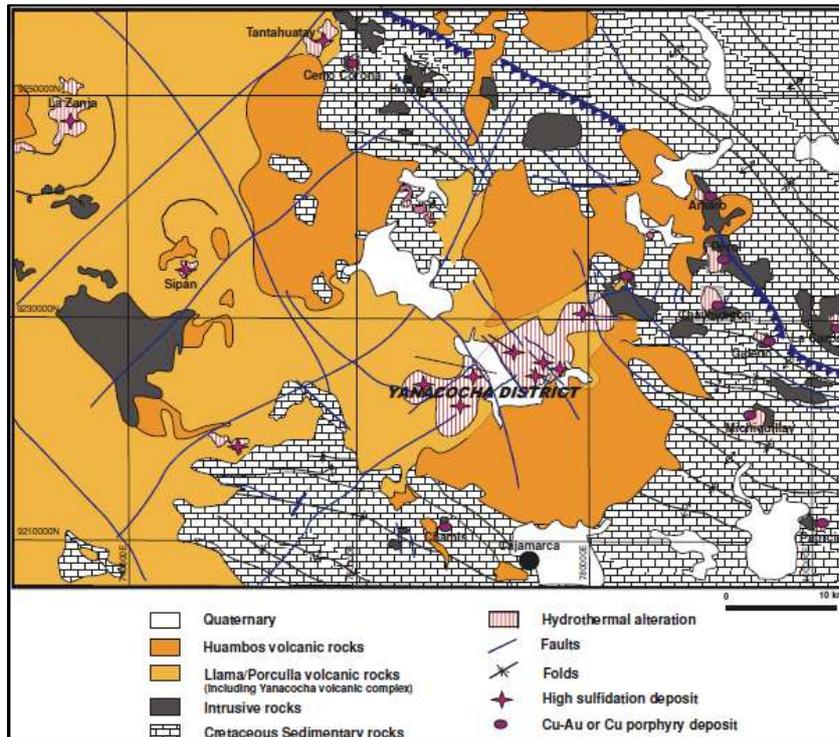


Figura 3: Geología Regional

FUENTE: Yanacocha (2015).

Rocas Sedimentarias (Cretáceo)

Caracterizado por la presencia de una serie granular en la parte inferior y calcárea en la parte superior.

- Formación Farrat (Cretáceo inferior). Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso y limolitas; comúnmente plegadas. Forman la parte superior del Grupo Goyllarisquizga, son las rocas más antiguas expuestas en la parte Sur y Oeste del distrito. Por su constitución litológica, presenta afloramientos de escarpas visibles y el techo está cubierto en discordancia paralela, por la Formación Yumagual.

- Formación Yumagual (Cretáceo Medio). Es parte del grupo Puillucana, se encuentran expuestos en la parte del NE del distrito. Compuesta principalmente por grandes horizontes de caliza masiva y margas en bancos competentes, de color gris, intercalada con pequeños niveles de pizarras y limolita. Contiene niveles fosilíferos que ayuda a definir con cierta precisión la edad de esta formación.
- Grupo Puyllucana (Cretáceo Medio). El yacimiento (cantera China Linda) se encuentra estratigráficamente en las calizas que conforman los pisos superior e inferior del miembro inferior de la formación superior de este Grupo.

Rocas Volcánicas (Terciario)

Esta secuencia volcánica sobreyace a las rocas sedimentarias del Cretáceo en discordancia angular. Está compuesta por las Formaciones Llama, Porculla (Grupo Calipuy) y los miembros Fraylones y Otuzco de La Formación Huambos. Las unidades litológicas del complejo minero han sido denominadas como Complejo Volcánico Yanacocha y las dataciones lo ubican estratigráficamente dentro de la Formación Porculla.

- Grupo Calipuy. Se encuentra emplazado a lo largo del gran corredor estructural Chicama-Yanacocha. Debido a la actividad del arco volcánico se han depositado en discordancia angular sobre el substrato cretácico unidades litoestratigráficas de origen volcánico continental denominadas Grupo Calipuy.
- La Formación Llama. El Volcánico Llama está compuesto por flujos de lava andesítica -dacítica, conglomerado volcánico y rocas volcanoclásticas. Se localiza al Sur del complejo minero y presenta una débil alteración argílica y alteración propilítica. En la región de Cajamarca la Formación Llama ha sido datada en el Paleoceno (65 a 23 ma).
- Formación Porculla. El Volcánico Porculla está constituido principalmente por rocas piroclásticas de espesor considerable intercalado con secuencias de lava andesítica y dacítica cortadas por eventos intrusivos multifases, en el área de Yanacocha localmente es conocido como “Complejo Volcánico Yanacocha” y se caracteriza por hospedar la mineralización de oro. La secuencia volcánica ha sido datada como Mioceno Medio (11ma).

- Formación Huambos. Secuencia volcánica de amplia distribución que suprayace al Grupo
- Calipuy en discordancia angular. Aflora en grandes extensiones y está constituida por rocas piroclásticas ricas en cristales e ignimbrita, intercaladas con niveles de flujos de bloques y ceniza; toda la secuencia volcanoclásticas están cortadas por múltiples eventos intrusivos de brechas freáticas y freatomagmática. Junto a las secuencias piroclásticas constituyen la roca huésped de la mineralización económica.

Cuerpos Intrusivos (Terciario)

Los cuerpos intrusivos están emplazados a lo largo del cinturón orogénico y compuesto principalmente por diorita y cuarzo diorita. Tienen una orientación O-NO cortando el lado este del distrito Minero de Yanacocha, las intrusiones se encuentran formando cuerpos circulares a elongados hasta 5 km de ancho y han sido datados como del Paleoceno-Mioceno.

Depósitos Cuaternarios

Depósitos fluvio-glaciares: Constituidos por brechas no consolidadas en una matriz microbrechosa, grava y arenas limo arcillosas, presentan pseudoestratificación en dirección de la pendiente, ubicándose aisladamente en las partes altas de las cuencas, depositados en bancos irregulares, formado durante las épocas glaciales y post glaciales del Pleistoceno como consecuencia del transporte de grandes bloques de hielo que cubrieron la zona de deposición de materiales detríticos mayormente gruesos (Yanacocha 2014).

2.1.4. Geología local

En el Anexo 2-1 se presenta el mapa de la litología local de Yanacocha.

Brecha freato-magmática - Diatrema (TBXD)

Consiste en una brecha compuesta por fragmentos heterolíticos (volcánicos, intrusivos y brechas) con diferentes grados de alteración de sílice masiva, sílice vuggy, sílice-alunita y sílice-arcillas. Fragmentos hasta de 1m de diámetro redondeados a sub redondeados. La matriz también es heterolítica y está compuesta por cuarzo microgranular, sílice amorfa, vidrio volcánico, pequeños fragmentos líticos, arcillas y agregados de finísimos cristales prismáticos. La matriz representa el 50 a 90% del material muy fino por lo tal, no permite la presencia de espacios abiertos. La pirita diseminada y en venillas es el sulfuro predominante, sin embargo, también se observa presencia de otros sulfuros como la covelita y enargita en menor proporción.

En el cerro Yanacocha se tiene un cuerpo principal de brecha-diatrema, cuya extensión es aproximadamente 1000 m de largo y 400 m de ancho. Además, se presentan afloramientos de pequeñas unidades al norte, oeste y suroeste del tajo Yanacocha, y al oeste del tajo Maqui Maqui Sur.

Brecha freática (TBXF)

Se trata de una unidad que en su mayoría es de carácter monolítico y en menor proporción heterolítica, rica en clastos. Los afloramientos ocurren frecuentemente como canales, diques y cuerpos irregulares. Está compuesta por fragmentos angulosos a subangulosos con diferentes grados de silicificación, desde sílice masiva a sílice vuggy. La matriz está constituida por sílice microgranular de grano medio y fragmentos líticos muy finos (polvo de roca). La matriz y las cavidades han sido rellenadas principalmente por limolitas, y en menor proporción por alunita, baritina y escorodita y ocurre en forma de diques subverticales.

Las erupciones que han dado origen a esta unidad tienen un enfoque poco profundo (100 – 200 m de la zona superior del sistema hidrotermal), por consiguiente, los fragmentos de estas brechas tienen una composición que refleja las temperaturas relativamente bajas y a menudo un pH bajo; estos fragmentos están compuestos por sílice opalina, sílice calcedónico, azufre, caolín o alunita.

La naturaleza de estas brechas varía en función del número de eventos hidrotermales y el grado de transporte de los fragmentos rocosos. Esta unidad también es denominada como brechas hidrofracturadas. Con el mayor grado de transporte de los fragmentos rocosos, las brechas serán heterolíticas, redondeándose los fragmentos y aumentando la proporción de la matriz, típico de brechas freáticas.

Brecha hidrotermal (TBYH)

Compuesta principalmente por fragmentos angulosos y subangulosos, de carácter heterolítico soportados por una matriz de sílice masiva de color gris crema y óxidos de hierro. La proporción de la matriz con respecto a los clastos es muy variada llegando en algunas zonas a una brecha de clastos soportados. Ocasionalmente, hay presencia de baritina rellenando espacios vacíos. Esta roca contiene leyes de Au >1.0 g/t, debido a su relación directa con un evento de alta mineralización de oro.

Unidad Porfirítico Carachugo (TCP)

Presenta una composición andesítica de grano fino, generalmente porfirítica. Esta unidad se encuentra en la parte central del tajo Maqui Maqui, dentro del sector SYE y en pequeñas unidades en la parte central y sur.

Se encuentra asociada a la presencia de domos y flujos de lava, presentando una alteración argílica y argílica avanzada.

Sedimentos laminados (LAM o TL)

Constituidos por sedimentos producto de depósitos piroclásticos. Dentro del sector SYE esta unidad está poco representada en superficie encontrándose algunas unidades al oeste del depósito de desmonte Maqui Maqui y al noroeste del límite del sector SYE.

Lava andesítica piroxena - hornblenda (TLPHA)

Se presenta como roca fresca y con alteración propilítica. Está compuesta principalmente por secuencias de brechas y de tobas andesíticas (lavas y domos) ricas en cristales de hornblenda y biotita, y con fragmentos líticos generalmente alterados a sílice-arcillas. Se caracteriza por presentar una textura de flujo microlítica.

Esta unidad aflora en la parte oeste y norte del sector SYE, y puede tener una potencia de hasta 300 m; además, esta unidad se encuentra al este del reservorio San José.

Depósitos morrénicos (QMGAL):

Los depósitos morrénicos están constituidos por brechas no consolidadas en una matriz micro brechosa o arenosa. Estos depósitos están referidos a materiales morrénicos poco consolidados y depositados en bancos irregulares que han sido transportados por acción hídrica a partir de antiguos depósitos glaciares. Actualmente se encuentran erosionados, resaltando formas discontinuas en las pendientes moderadas.

Es una de las unidades geológicas de mayor extensión en el área del proyecto, presentándose al noroeste del tajo Maqui Maqui (quebrada Honda y quebrada Río Colorado), al suroeste del área de estudio ambiental (quebradas Encajón y Quishuar Corral), al sur del reservorio San José (quebrada San José) y al este y sureste del tajo Chaquicocha (quebradas La Saccha y Chaquicocha).

Unidad toba eutáxica transicional (TTEUT)

Compuesta por tobas andesíticas y lapillis de cristales con esporádicos clastos líticos del basamento, fuertemente alterados a arcillas y sílice – alunita. Es de espesor variable entre 150 y 300 m, y tiene su mejor desarrollo en el depósito de Chaquicocha. Se encuentra bien expuesta en los depósitos de Yanacocha y constituye la más importante roca huésped de mineralización de Au en el depósito.

Se presenta en las zonas de Maqui Maqui (pila de lixiviación Carachugo), al norte del tajo Chaquicocha (depósito de suelos orgánicos Atahualpa), en el antiguo tajo Carachugo (relleno del tajo con desmontes) y al norte del reservorio San José.

Secuencia de domos (TUD)

Está compuesta por flujos de lava dacítica y andesítica en forma bandeada, las cuales son ricas en piroxenos y hornblenda; adicionalmente, se encuentra intercalada con brechas y piroclastos. Dentro del sector SYE y en superficie, la mayor unidad se presenta al sur de la pila de lixiviación Maqui Maqui (quebrada Arnacocha). Otras unidades menores se presentan al norte y sur del sector SYE.

Ignimbrita Maqui Maqui (UMM o TIM)

Representa una actividad volcánica explosiva temprana, compuesta por tobas andesíticas y traquiandesíticas con cuarzo, hornblenda y biotita, pobremente cementadas, y con fiammes de hasta 10 cm. Localmente se ha identificado la secuencia superior Ignimbrita Maqui Maqui (Umm), compuesta por tobas ricas en cristales con textura eutaxítica e intercaladas con secuencias piroclásticas. Pueden subyacer a las tobas de grano medio de la unidad TTEUT, localmente, quizá llenando vacíos.

Constituye una roca huésped para la mineralización y su espesor varía entre 200 y 300 m. Su mayor representación en el sector SYE es en la zona de Maqui Maqui, al norte del área de estudio ambiental.

Unidad andesita superior (TUPHA)

Esta unidad está conformada por secuencias de lavas y domos que presentan una composición dacítica y andesítica, compuesta por piroxeno – hornblenda, con propiedades magnéticas y foliación marcada. Representa una etapa tardía del vulcanismo efusivo, ocurriendo en forma de domos, flujos bandeados e intercaladas con brechas piroclásticas. Puede presentar intrusiones de la Unidad porfirítica Carachugo (TCP) en la sub superficie.

Dentro del sector SYE, en superficie, se encuentra al oeste del tajo Maqui Maqui y al este del tajo Chaquicocha. Debido a su morfología, a veces también se le denomina Domo andesítico Maqui Maqui.

Unidad San José (USJ-ULT o TISJ-TILT)

Conocido como Ignimbritas San José, esta unidad está compuesta por tufos dacíticos ricos en cristales de hornblenda con abundantes clastos previamente alterados. Dentro de esta secuencia volcánica se encuentran sedimentos laminados y oleadas piroclásticas basales.

Sobreyace a la unidad Toba eutáxica transicional (TTEUT). Esta unidad en superficie ocupa gran parte de la mitad suroeste del sector SYE cerca del cerro Yanacocha. La alteración en la zona de Yanacocha varía entre sílice masiva y sílice vuggy. Se encuentra bien preservada en los depósitos de Yanacocha, Carachugo y Chaquicocha, la mineralización de Au también se encuentra hospedada en esta secuencia.

Unidad Shacsha (TUTX)

Corresponde a una unidad de ignimbritas andesíticas ubicada al sureste del sector SYE (quebrada La Sacsha). Se trata de una capa de 8 a 10 m fuertemente tectonizada y que ha sufrido fuertes procesos de erosión, por lo que se encuentra ausente en gran parte del área de estudio ambiental.

Unidad porfirítica Yanacocha (TYP)

Corresponde a una unidad de rocas porfiríticas que comprenden el Distrito Minero Yanacocha, compuesta por rocas andesíticas de grano grueso, textura porfídica, con un 25% de fenocristales de plagioclasas y hornblendas y matriz afanítica.

Este pórfido andesítico ocurre como un flujo de lava-domo con un interior porfirítico y con evidencias de foliación de flujo en las márgenes. Este domo tendría sus raíces en Yanacocha Norte, extendiéndose hacia el cerro Encajón. Además, se tiene stocks y diques de grano más finos conocidos como el porfirítico Carachugo (TCP), que afloran principalmente en el cerro Encajón.

Las secuencias del complejo volcánico Yanacocha están cortadas por unidades intrusivas de carácter porfirítico y brechas asociadas de composición andesítica de grano grueso.

Estas unidades se presentan al oeste del Complejo Marleny San José, al sur del reservorio San José y en los alrededores del cerro Yanacocha.

Unidad Yanacocha cuarzo porfirítica (TYPQ)

Está conformada por rocas porfiríticas de composición dacítica, compuesta por fenocristales de plagioclasas, biotitas y anfíboles. Los fenocristales de cuarzo son muy distintivos (con una abundancia relativa de 1 a 20%) y tamaños que oscilan entre 0.5 y 0.3 mm.

Ocurre en forma de diques subverticales, y generalmente se encuentra fresco o con una débil cloritización. En el sector SYE se registran varios centros de intrusión en el cerro Yanacocha (al oeste del sector SYE).

Piroclastos inferiores de biotita (TLBP)

Esta secuencia volcánica se presenta como roca fresca y alteración propilítica. Rocas piroclásticas con contenido de biotita (TLBP) en menor proporción, estas se encuentran inalteradas y sin mineralización. En superficie, encontramos principalmente una unidad en la zona Oeste del Sector SYO (al Norte del depósito de arenas de molienda).

2.1.5. Alteraciones y mineralización

Geológicamente Yanacocha presenta alteraciones hidrotermales de alta sulfuración (Harvey et al. 1999). Clásica para yacimientos de alta sulfuración diseminados, esto es un núcleo silicificado, fracturado y brechado (brecha hidrotermal) en el que está contenido principalmente el yacimiento, con una aureola de ensamble cuarzo-alunita (argílico avanzado), que presenta remanentes de la fase de lixiviación de textura cuarzo “vuggy”, hacia afuera del sistema presenta la zona de alteración argílica, con gradación de arcillas de distinta temperatura y finalmente y en la parte más externa del sistema se tiene la alteración propilítica con ensamble de cloritas, epídotas, carbonatos y pirita (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico 2001). En el Anexo 2-2 se presenta el mapa de alteraciones hidrotermales de alta sulfuración de Yanacocha.

El Proyecto Yanacocha está descrito como un Yacimiento epitermal de alta Sulfuración de Cu-Au, con predominio de Cu, el cual se ubica inmediatamente debajo de la zona oxidada del depósito de alta sulfuración Cerro Yanacocha. En ellas se han evidenciado múltiples eventos de alteración hidrotermal, así como eventos de mineralización. Los ensambles de alteración son típicos de este tipo de depósitos con un núcleo silíceo (sílice masiva, vuggy y granular) que gradada hacia los bordes y en profundidad a un ensamble Argílico avanzado con ensambles de alteración como sílice-alunita y sílice-pirofilita y diáspora. Hacia los bordes del depósito se encuentra ensambles de alteración Argílico y Propilítico.

El proyecto Yanacocha está conformado por un complejo volcánico de tobas, flujos de lava e intrusivos y podría ser considerado como una incipiente transición entre un sistema de alta sulfuración y un sistema tipo pórfido.

Cuatro eventos principales de mineralización han sido reconocidos en este depósito: el más temprano es caracterizado por disseminaciones de pirita y silificación asociada con desarrollo a profundidad de vetillas bandeadas y textura que sugieren la transición a un sistema porfirítico. La segunda etapa (el evento principal de oro) se caracteriza por la deposición de pirita fina, y enargita y covelita después de un intenso proceso de silificación. En la zona de óxidos esta etapa se correlaciona con la presencia de brechas con matriz sílice-óxidos. La tercera etapa de mineralización, Cu-(Au), está asociada con la intrusión de brechas y stocks de composición dacítica, los sulfuros de cobre presentes son esencialmente enargita (Cu_3AsS_4), covelita (CuS) y calcocita (Cu_2S), y en menor proporción luzonita, digenita, tenorita, calcopirita y bornita. Otros minerales reportados son esfalerita, galena, marcasita, tenantita, tetraedrita y pirita; el ensamble de alteración es usualmente argílico avanzado con pirofilita-diáspora a profundidad. La última etapa de mineralización se presenta localmente en la parte Norte del depósito y está constituida por carbonatos intercrecidos con esfalerita, galena y menores cantidades de enargita. Esta última etapa marca un cambio de pH en los fluidos mineralizantes.

Estructuralmente el proyecto Yanacocha, se encuentra emplazado dentro de un corredor estructural NW, limitado hacia el NE por el corredor Yanacocha-Chaquicocha y hacia el SW por el corredor Buena Sorpresa. El emplazamiento de los intrusivos y brechas en general tienen un alineamiento NE. La mineralización está controlada por estructuras locales de dirección EW y WNW. Las fallas geológicas en el depósito en general son de alto ángulo.

Estructuras tensionales de orientación este (E) - oeste (W) y norte (N) - sur (S) controlan parte de la mineralización en estructuras. Numerosas intrusiones a manera de pequeños cuerpos de composición andesítica a dacítica y brechas de carácter freatomagmático, freático e hidrotermal cortan en diferentes etapas, al conjunto de las secuencias volcánicas. Las unidades dentro del distrito que presentan mineralización están afectadas principalmente por

alteración hidrotermal silíceo masiva y granular con sílice oquerosa controlada por estructuras y por litologías favorables. Muestran los halos de alteración característicos de los depósitos epitermales de alta sulfuración: sílice (oquerosa, masiva y granular), seguida de alteración argílica avanzada (sílice - arcillas y/o sílice-alunita) y halos exteriores de alteración argílica y propilítica. Ocasionalmente ocurre sílice opalina.

La mineralización económica de cobre-oro está asociada con múltiples eventos de intrusivos (TYPQ), los cuales han generado una zona de múltiples eventos de brechas al contacto con la secuencia piroclástica, generando brechas intrusivas (TYPQ-TBX) y brechas hidrotermales (TBXH), las mejores leyes de cobre se pueden encontrar en esta zona de brechas y también en venillas y disseminada dentro del TYPQ y el TTEUT.

2.1.6. Mineralización económica y As en Cerro Yanacocha

Pilco (2011), indicó que el As se distribuye ampliamente en tres pozos, siguiendo una tendencia lateral principal noreste, iniciando en Yanacocha Norte pero extendiéndose a Los Pinos y al área del cráter. También se observa una tendencia local entre Yanacocha Oeste y el hoyo de Yanacocha Sur, en niveles bajos y profundos. El As generalmente ocurre con el Cu pero se extiende a niveles más altos que el cuerpo de Cu. La observación de campo y el análisis microscópico muestran que el As en las zonas de óxido se produce como scorodita y en la porción media de sulfuro hacia abajo como enargita (Figura 4).

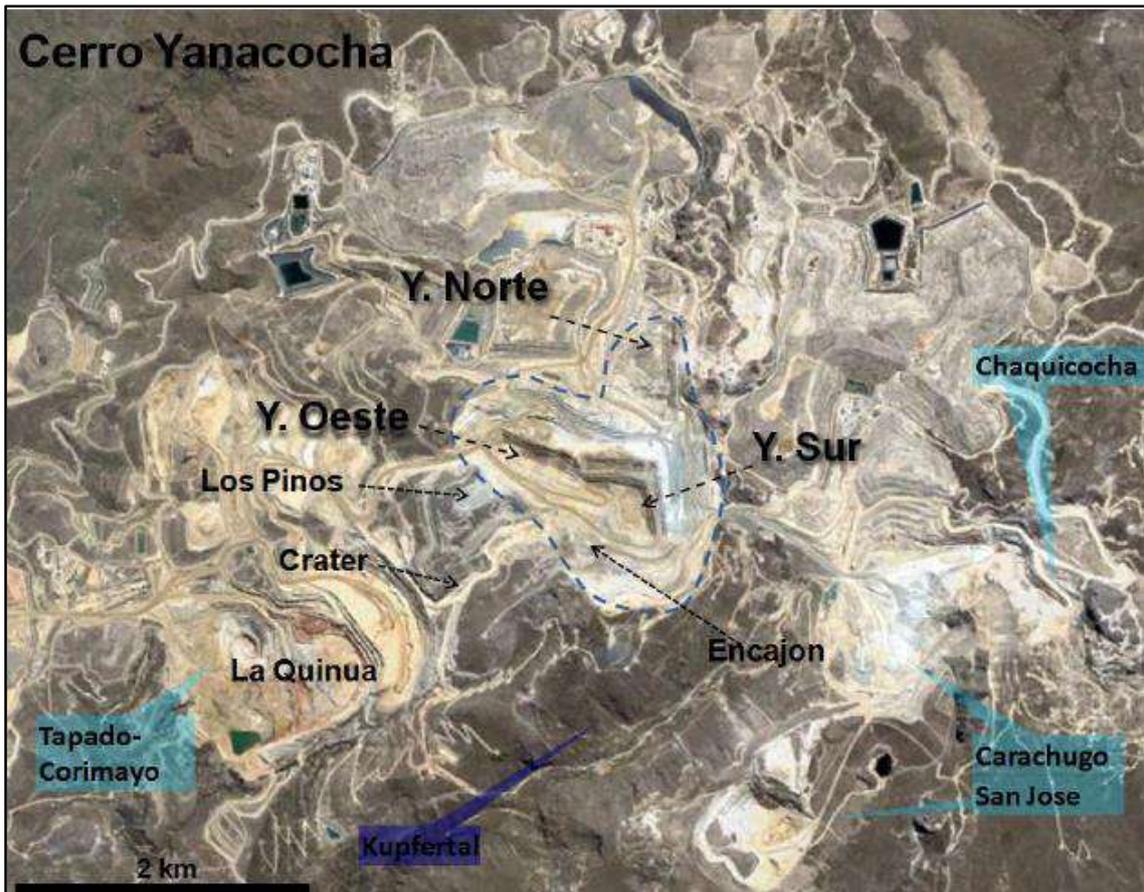


Figura 4: Ubicación de Cerro Yanacocha

FUENTE: Pilco (2011).

El As (> 1000 ppm) en Yanacocha Oeste se encuentra a más de 3,520 m s.n.m. de altitud, relacionado con YpqBx, Bxh y asociado con las estructuras de alimentación. En Yanacocha Sur y Yanacocha Norte, su distribución se superpone con Au y Cu, por encima de los 3,650 m s.n.m. de altitud (Pilco 2011).

La principal mineralización de Cu y Au en los yacimientos de Yanacocha y Lepanto es en sílice masiva relacionada con brechas hidrotermales, pero además, el Cerro Yanacocha muestra una gran parte de su mineralización de Au y Cu-As con cuarzo-pirofilita (Pilco 2011).

F

?? Las figuras 5 a la 8 presentan la distribución geológica de As en Cerro Yanacocha.

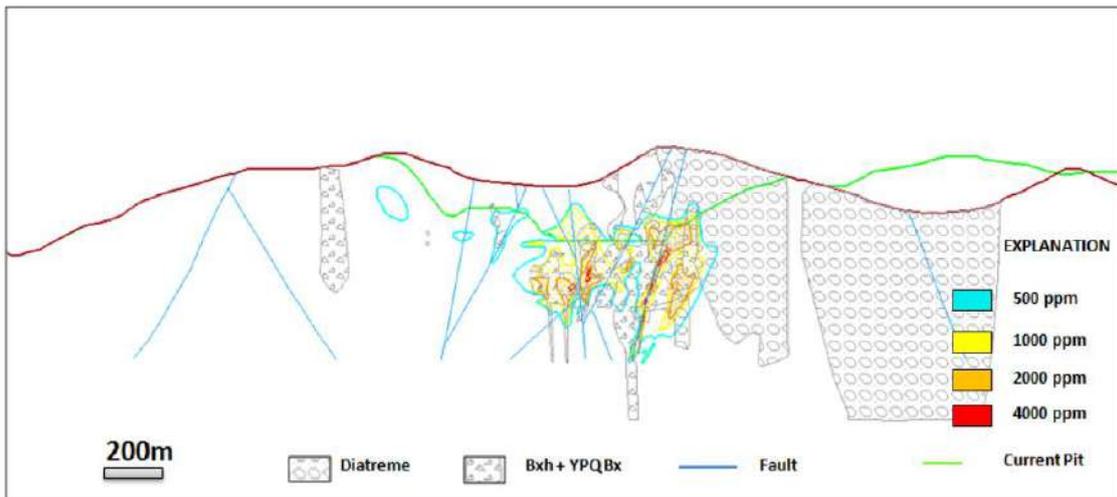


Figura 5: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, sección transversal 14500.
FUENTE: Pilco (2011).

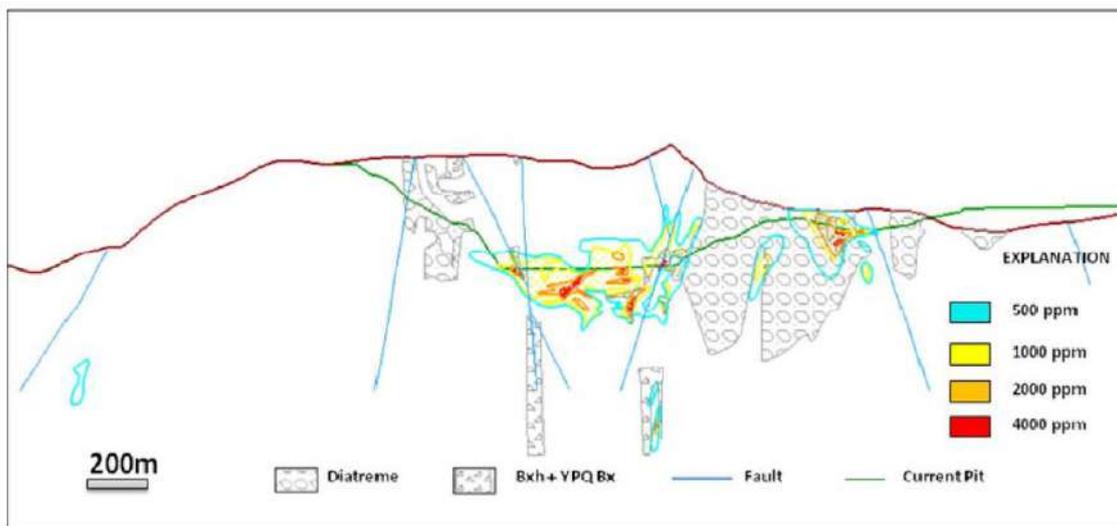


Figura 6: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, sección transversal 14900.
FUENTE: Pilco (2011).



Figura 7: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, vista 3600 m s.n.m.

FUENTE: Pilco (2011).

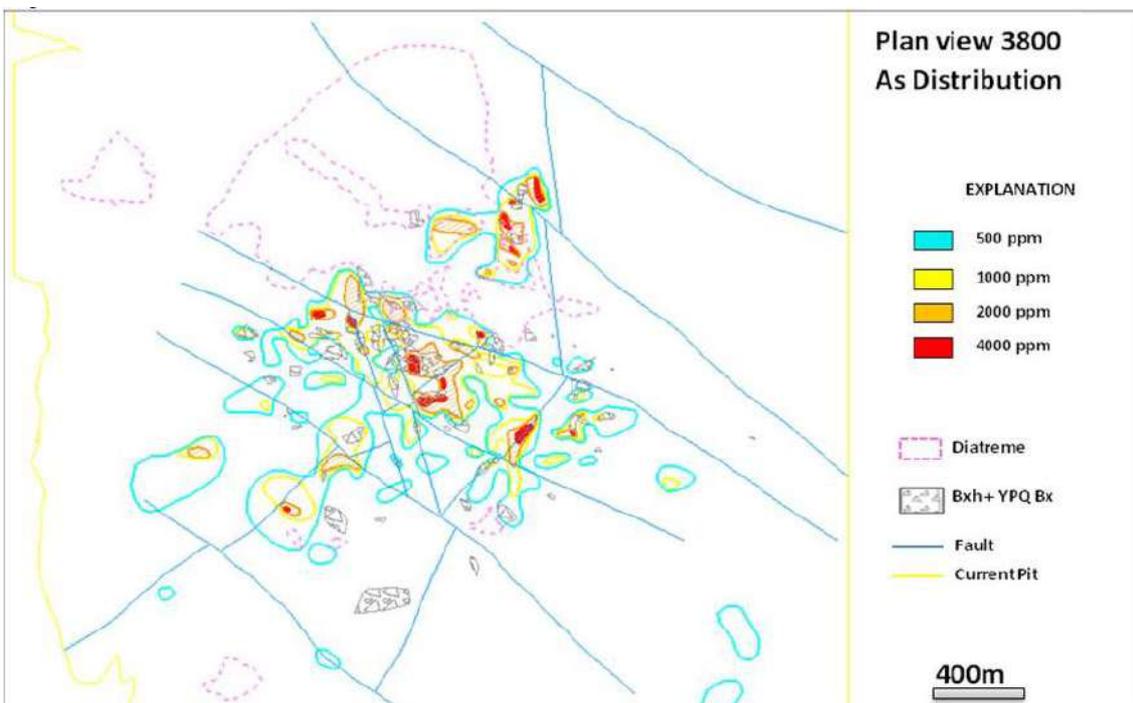


Figura 8: Distribución geológica de As en Cerro Yanacocha, vista 3800 m s.n.m.

FUENTE: Pilco (2011).

2.1.7. Geomorfología

Los procesos que dieron origen a la geomorfología en el área de estudio están relacionados con la actividad volcánica como agente formador, y la erosión como agente modelador del terreno. Estos procesos dieron lugar a los depósitos volcánicos, los valles fluvio-glaciares y los depósitos sedimentarios recientes. Los procesos de erosión eólica e hídrica también se evidencian con la presencia de quebradas fluviales de carácter temporal y con las cumbres aplanadas (Yanacocha 2015).

Uno de los procesos que ha modificado la geomorfología local natural ha sido la actividad minera. Los sectores de Yanacocha han sufrido intensos cambios en el relieve y en la geomorfología natural, experimentando una pérdida de geoformaciones originales, a través de grandes movimientos de tierra. Estas modificaciones y movimientos de tierra se producen debido a las actividades de excavación, producto de la explotación del mineral en los tajos, al apilamiento de material en las pilas de lixiviación y en los depósitos de desmonte o suelo orgánico, y a las modificaciones en las redes de drenaje natural. Las unidades geomorfológicas que se encuentran dentro del área de estudio se describen a continuación (Yanacocha 2015):

Valle fluvial

En las áreas de Yanacocha hay numerosas quebradas que se distribuyen alrededor del área de estudio. Tienen pendientes entre moderadamente empinadas a empinadas, siendo valles alargados y extensos. Tanto el río Grande como el río Shoclla tienen características de valle fluvial, los cuales adoptan su forma en “V”, típica de un valle fluvial formado por orígenes tectónicos y de denudación. En ambos casos se encuentran a los 3500 m s.n.m. y tienen pendientes moderadas a escarpadas (15-50 %). Durante la época de lluvias, y a medida que discurren las aguas abajo de la naciente, el caudal va erosionando las vertientes, moldeando las formas de los valles. Los suelos de estos valles están cubiertos de pastos naturales propios de la región.

En la parte este de Yanacocha se tienen pendientes entre ligeramente inclinadas a moderadamente empinadas hasta pendientes muy empinadas, siendo valles amplios y en forma de “U” de origen glaciar. A medida que discurre aguas abajo, los valles empiezan a adoptar su forma en “V” típica de un valle fluvial producto de un mayor efecto erosivo de las quebradas. Los suelos de estos valles están cubiertos de pastos naturales propios de la región.

Colinas y lomadas

Estas geoformas son las más predominantes en el paisaje alrededor del área de estudio y en buena parte de las zonas no intervenidas dentro la parte este de Yanacocha. Estos elementos corresponden a formas de erosión residuales, es decir, a restos de una superficie tallada fundamentalmente por la abrasión de la acción glaciar, así como por la erosión de la actividad pluvial (Yanacocha 2003) produciendo cumbres relativamente planas y un relieve ondulado con pendientes entre moderadamente empinadas (15-25 %) a Muy empinadas (50-75 %) (Yanacocha 2015).

Laderas empinadas

En la parte oeste de Yanacocha, estas superficies han pasado por un proceso de denudación constante que ha llevado a la presencia de estas formas cóncavas irregulares, con una topografía que va desde ligeramente inclinada a muy empinada, logrando una altitud entre 3424 m s.n.m. y 3530 m s.n.m. Estas laderas presentan materiales coluviales, producto de la erosión en la zona; y suelos de textura media, con menos del 0,1 % de pedregosidad superficial. Son áreas con variadas inclinaciones, ubicadas mayormente en los laterales o pies de las laderas, con pendientes que fluctúan entre 8% y 75%, se encuentran cubiertas por vegetación herbácea dispersa y pastos propios de la región, así como rocas de diverso tamaño y de formas sub-angulosas. En la parte este de Yanacocha, se caracterizan por la presencia de material fino y grueso ubicado en la superficie con vegetación herbácea dispersa. Están formados por depósitos coluviales que se localizan en las faldas de la mayor parte de los cerros, las laderas son de topografía ondulada con pendientes que van desde moderadamente empinada (15-25 %) hasta pendientes muy empinadas (50-75 %) donde los depósitos han

sido formados por efecto de la erosión hídrica y la fuerza de la gravedad. Están constituidos por acumulaciones de material detrítico grueso y fino de diferente litología, con más de 50 % de pedregosidad superficial. Los suelos son de textura media, con menos de 0,1 % de pedregosidad superficial (Yanacocha 2015).

Afloramiento Rocoso

Se ubica en las zonas de mayor pendiente (empinada 25 % a 50 %) y en las cumbres de los picos más altos donde no ha sido posible la formación de suelo, por lo que la roca desnuda aflora. El afloramiento rocoso está siempre asociado a depósitos sedimentarios coluviales, producto de la erosión; presentando una vegetación específica de escasa cobertura y de pequeño tamaño. Algunos afloramientos rocosos del área de estudio se caracterizan por estar asociados a formas de relieve originadas por la sedimentación glacial (depósitos morrénicos). Estos depósitos morrénicos de naturaleza fluvio-glaciar no son muy representativos en el área de estudio, sólo se ubican en pequeñas colinas y laderas. En la parte oeste de Yanacocha, existen algunos vestigios ubicados al noroeste de la pila de lixiviación La Quinoa, muy cerca del dique del río Rejo, de relieve ondulado y pendientes empinadas. En la parte este de Yanacocha, se ubican en las zonas de mayor pendiente (extremadamente empinada >75 %) y en las cumbres de las montañas más altas donde no ha sido posible la formación de suelo, por lo que la roca desnuda aflora. Están siempre asociados a depósitos sedimentarios coluviales producto de la erosión y transporte. Presentando una vegetación específica de escasa cobertura y pequeño tamaño. Las morrenas son acumulaciones de material transportado por el hielo formadas durante las épocas glaciales y postglaciales del Pleistoceno como consecuencia del arrastre de grandes masas de hielo que cubrieron la zona y por la deposición de materiales detríticos mayormente gruesos, predominando un alto porcentaje de pedregosidad, mezclado con otros fragmentos gruesos como gravas, gravillas y bloques erráticos (Yanacocha 2015).

2.1.8. Geodinámica externa

Los sectores de Yanacocha presentan un relieve que ha sido modelado por la actividad glaciaria ocurrida en el Pleistoceno, generando suaves lomas hacia las divisorias y valles con depósitos mal seleccionados en sus pisos y zonas anegadas. A partir de un análisis de la imagen satelital proporcionada por Yanacocha, se observa que la geodinámica externa está dominada por procesos de erosión fluvial y remoción en masa. A continuación se describen los procesos de geodinámica externa identificados (Yanacocha 2015):

Erosión fluvial

La erosión fluvial es un proceso que produce la eliminación de materiales ubicados sobre la superficie terrestre debido a su extracción y transporte por la acción de las aguas superficiales. Como evidencias de los procesos de erosión fluvial vertical y lateral, se observan cárcavas y pequeños cauces en el área de estudio. Las cárcavas están relacionadas al transporte de materiales finos, que siguen la dirección de máxima pendiente, apareciendo en cada episodio de precipitación, formándose en las superficies desnudas con pendiente elevada. Las cárcavas se desarrollan en las laderas y los cauces de las quebradas, erosionando las rocas sedimentarias. En algunos casos, dichos cauces presentan un patrón meandriforme, posiblemente como producto de una interacción del flujo con materiales mal seleccionados de origen glaciario en el lecho del cauce de cursos de agua (Yanacocha 2015).

Remoción en masa

Es el proceso geomorfológico por el cual el suelo, el regolito y la roca se mueven cuesta abajo por la fuerza de la gravedad. Los tipos de remoción en masa identificados en el área son los siguientes (Yanacocha 2015):

- **Reptación:** Es un tipo de corrimiento del suelo provocado por la inestabilidad de un talud y por la gravedad. Se trata de un movimiento muy lento en las capas superiores de las laderas arcillosas, de un espesor alrededor a 50 centímetros o menos. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacional en el suelo, ya que el

agua favorece este fenómeno actuando como lubricante y aumentando consiguientemente su peso. Los procesos de remoción en masa como la reptación se evidencian en la parte noroeste, entre los componentes Spoil (este y oeste), y con una mayor presencia en la parte norte del dique Río Rejo. Igualmente los procesos de remoción en masa como reptación, se evidencian entre el Tajo Carachugo SP-2 y el Tajo Chaquicocha. Así mismo, este proceso se identifica al noroeste del depósito de desmonte Maqui Maqui sobre el límite este de Yanacocha (Yanacocha 2015).

- **Deslizamientos:** Un deslizamiento se define como un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente abajo sobre una superficie regular, bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material. Los deslizamientos o flujos de detritos ocurren en las zonas de mayor pendiente y quedan evidenciados por escarpas. Las escarpas se definen como declives bruscos sobre el terreno, son vertientes de roca que cortan el terreno abruptamente, la pendiente es mayor al 50 %. El escarpe, de modo general, es cualquier tipo de salto que interrumpe la continuidad de un paisaje. En algunos casos, se distingue que las escarpas están posiblemente relacionadas con las zonas de descarga de agua. El material saturado en agua presenta mayor peso y por ende, una menor estabilidad en una determinada pendiente. Se evidencian escarpas de remoción en masa en suelos y depósitos no consolidados de origen glaciar sobre el área del tajo Maqui Maqui, al noreste de la pila de lixiviación Carachugo, al noreste del área del tajo Chaquicocha; sobre la parte alta de quebrada Arnacocha y aguas arriba en la quebrada San José. En algunos casos, se distingue que las escarpas de los deslizamientos están posiblemente relacionadas a zonas de descarga de agua. El material saturado en agua presenta mayor peso y por ende una menor estabilidad en una determinada pendiente (Yanacocha 2015).
- **Caída de roca:** Se origina sobre afloramientos de roca con pendientes abruptas (Yanacocha 2015).

2.1.9. Fisiografía

Unidad Planicie

- Valle Fluvial: Son unidades de origen aluvial que se manifiestan en su geoforma como valle fluvial típico en V. Los valles son de forma alargada y se encuentran encajonados por las vertientes montañosas. Presentan pendientes que van desde moderadamente empinadas (15-25 %) hasta empinadas (25-50 %), con presencia de afloramientos rocosos y laderas empinadas. Estos valles pueden observarse al sur del tajo La Quinoa 3 (Yanacocha 2015).
- Humedales Alto andinos: Son unidades que presentan acumulaciones de agua de manera intermitente, cuyo afluente natural son los cursos de aguas que descienden de las cumbres de las formaciones montañosas y que al presentar una pendiente casi plana son perfectas para la acumulación de las mismas, estos suelos hidromórficos tienen pendientes que van desde plana a casi a nivel (0-4 %) hasta pendiente ligeramente inclinada (4-8 %). El origen de este suelo es de naturaleza coluvioaluvial, son suelos muy superficiales, su nivel freático está muy cerca de la superficie (Yanacocha 2015).
- Planicie Fluvio-glaciár (China Linda): Está formada directamente por la acción erosiva y deposicional de materiales fluvio - glaciares, los cuales han modelado al material original hasta llegar a su actual configuración. Se caracteriza por su topografía plana a ligeramente ondulada, y cuya diferenciación, tanto de origen como de forma, está dada por el relieve. Sobre esta unidad se ha identificado el subpaisaje descrito a continuación (Yanacocha 2016).

Unidad colinosa

Colinas y lomadas: Estas unidades son las de mayor superficie dentro Yanacocha, son restos de una superficie tallada fundamentalmente por la abrasión de la acción glacial, la erosión de la precipitación y bisectados por cursos de agua de régimen dendrítico que discurren sobre esta formación. En las partes más bajas de la unidad se aprecian valles que tienen una

superficie ondulada, con pendientes que van desde moderadamente empinada (15-25 %) hasta muy empinada (50-75 %) (Yanacocha 2015).

Unidad Montaña

Laderas empinadas: Las laderas de montaña son imponentes, cuyas cumbres dan origen a la microcuenca del río Shoclla (al norte del área de estudio), cuyas laderas intersectan las quebradas la Quinua, Shillamayo, del Ciénega, Cushuro, y de la Pajuela; y la microcuenca del río Grande (al sur del área de estudio), cuyas laderas intersectan las quebradas Encajón, Corral Blanco y Callejón. Estas vertientes escarpadas son las que ocupan la mayor superficie en Yanacocha. Su topografía es agreste con pendientes que varían entre ligeramente inclinadas y moderadamente empinadas (8-15 %) hasta muy empinadas (50-75 %). En la parte este de Yanacocha las montañas dan origen a las microcuencas de los ríos Azufre, Quinuario, Río Grande y quebrada Honda, encontrando localmente los valles de las quebradas Arnacocha, Ocucho Machay, Chaquicocha, San José y Encajón por el sur; y quebrada Río Colorado, Pampa Larga, y quebrada del Hornamo por el norte. También se encuentran al norte del tajo Chaquicocha.

Afloramiento rocoso

Esta unidad de relieve accidentado sobresalen los macizos y peñascos rocosos, cuyas cumbres limitan las nacientes de los ríos Shoclla y Grande, al norte y sur del área de estudio, respectivamente. Los afloramientos rocosos se ubican en las inmediaciones de los cerros Rumi Guachac, Chaupicocha, San José y Carachugo, ocupando una superficie de 140,86 ha dentro del área de estudio, con pendientes que van desde empinadas (25-50 %) hasta muy empinadas (50-75 %) (Yanacocha 2015).

2.1.10. Suelos

Descripción de los suelos según su origen

Suelos derivados de materiales residuales: Son suelos que se han originado in situ, desarrollados localmente por meteorización a partir de rocas de naturaleza litológica sedimentaria y volcánica.

Suelos derivados de materiales transportados: Son suelos desarrollados a partir de material transportado por gravedad o sedimentos antiguos acumulados, que fueron acarreados, depositados y acumulados por acción de las aguas de los deshielos ocurridos en épocas pasadas.

Suelos derivados de materiales orgánicos: Estos suelos se formaron por la acumulación progresiva de residuos vegetales derivados principalmente de especies hidrófilas, y que se acumularon paulatinamente.

En la Tabla 2 se presenta la clasificación taxonómica de los suelos de Yanacocha. Adicionalmente en el Anexo 3 se presenta los perfiles de suelo para cada clasificación taxonómica.

Tabla 2: Clasificación taxonómica de suelos (Soil Taxonomy 2014)

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo	Unidad de Suelo
Entisols	Orthents	Cryorthents	Typic Cryorthents	Totora
		Udorthents	Lithic Udorthents	La Quinua, Morrenas
	Aquents	Endoaquents	Humaqueptic Endoaquents	Humedal Altoandino
Andisols	Udands	Hapludands	Typic Hapludands	San José, Maqui Maqui, Cushuro, Ciénega
			Lithic Hapludands	Pampa Larga
	Ustepts	Dystrustepts	Lithic Dystrustepts	Cavia y Capa Rosa
Andic Dystrustepts			Pinos, Quemado, Cerro Negro y Canta	
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Humic Dystrudepts	Chaquicocha, El Tinte
				La Pajuela, Encajón, Cushurobamba
	Cryepts	Humicryepts	Typic Humicryepts	Encañada, China Linda
Lithic Humicryepts			Picota	
Histosols	Fibrists	Cryofibrists	Hydric Cryofibrists	Cushuro
Unidades no edáficas				Misceláneo Roca
				Misceláneo Mina

FUENTE: Yanacocha (2016 – 2019).

2.2. CONTEXTO TEÓRICO

2.2.1. Análisis geoestadísticos

Todo conjunto de datos que pueda ser referenciado a partir de un sistema de coordenadas con un punto de origen conocido (ejemplo: latitud/longitud, UTM) se ven condicionados por la primera ley de geografía o principio de autocorrelación espacial, según el cual todo se relaciona con todo, pero las cosas más próximas o cercanas se relacionan más que las distantes (Tobler 1970). La autocorrelación espacial viola un supuesto básico de muchos test estadísticos tradicionales, el cual supone que las observaciones sean independientes. La independencia en un conjunto de datos geográficos se daría si su localización no fuera significativamente distinta de una localización resultante de una asignación aleatoria para cada lugar i posible del mapa (Upton y Fingleton 1985).

Como en la naturaleza esto rara vez ocurre, abordar la dependencia espacial de los datos llevó a desarrollar nuevos procedimientos que tuvieran en cuenta tal circunstancia. En el ámbito de la estadística, estos nuevos procedimientos se han englobado bajo un nuevo campo de conocimiento denominado geoestadística, donde el prefijo “geo” resalta el aspecto espacial de los problemas que estudia mediante la aplicación de métodos probabilísticos (Montero y Larraz 2008).

Estos se aplican a la concentración de un elemento contaminante en el suelo, agua o atmósfera; la altitud topográfica en un punto del espacio geográfico; el número de árboles y su diámetro promedio en áreas de observación de un bosque; la ley de un mineral, entre otros, intentando conseguir una descripción matemática del fenómeno regionalizado (se extiende en el espacio geográfico y presenta una cierta continuidad). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) actualmente presentan enormes ventajas para la aplicación de procedimientos de geoestadística, entre las cuales se encuentran herramientas para análisis exploratorio de datos espaciales y la generación de superficies continuas a partir de datos discretos, utilizando métodos de interpolación. En relación a este último punto, la

geoestadística proporciona estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación (Fuenzalida 2015).

2.2.2. Niveles de fondo

El background natural, o nivel de fondo, se define como la concentración natural de un elemento con poca o mínima intervención antropogénica, asociado principalmente al material parental del suelo (Díez 2006). Por otro lado, debido a que es casi imposible encontrar suelos sin intervención humana, se han propuesto en diferentes investigaciones el uso de conceptos como niveles de fondo o de referencia para establecer las concentraciones de un elemento con un grado de confianza significativo. Estos niveles establecen la concentración total de un elemento para una región y en un periodo dado (Horckmans et al. 2005; Peris 2006; Micó et al. 2007).

Para definir los valores de fondo de elementos traza en suelos se han empleado diferentes aproximaciones. En algunos casos, se han adoptado como referencia los niveles “normales” aportados por la bibliografía (Leita et al. 1989); esta extrapolación de datos resulta discutible, incluso dentro de los suelos de una misma región, son mayoría los autores que se basan en aproximaciones estadísticas para establecer los valores de fondo de elementos contaminantes en una región (Díez 2006).

Los niveles de fondo de metales pesados en una zona geográfica pueden determinarse mediante un intervalo de valores de concentración, donde se ubicarán la mayoría de los datos de las muestras y se representarán los valores asociados principalmente al material parental del suelo o suelos con poca intervención antropogénica (Brus et al. 2002; Peris 2006). Los resultados de la fase de análisis de laboratorio son el insumo para la determinación de los niveles de fondo de metales pesados en suelos, y para su derivación se utilizan diferentes métodos estadísticos; como la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo (Rueda et al. 2011).

A diferencia de las sustancias artificiales, los elementos traza están presentes en la corteza terrestre de forma natural, por lo que su distribución en suelos vendrá condicionada por la

concentración natural del material original (Kabata-Pendias y Pendias 1992). El hecho de que los elementos traza de un suelo no contaminado procedan exclusivamente de la roca que lo origina, unido a la migración natural de los elementos entre los diferentes compartimentos del medio (gradientes, flujos geoquímicos, y/o barreras geoquímicas), hace que los diferentes sustratos condicionen distintos valores de estos elementos en los suelos (Díez 2006).

En resumen, en la medida en que la concentración de un determinado elemento en el suelo depende de los procesos físicos, químicos y biológicos que lo afectan, no es viable establecer unos valores de fondo universales; siendo más práctico utilizar diferentes niveles (Breckenridge y Crockett 1995).

2.2.3. Geoquímica del As

El As es un elemento muy común en la atmósfera, litosfera, hidrosfera, así como en la biosfera. Su presencia en el medio ambiente se relaciona fundamentalmente con su origen natural y procesos naturales como la meteorización de rocas y sedimentos, menas minerales de origen hidrotermal, erupciones volcánicas, actividad geotermal, incendios forestales, partículas de polvo y spray marino (Nriagu y Pacyna 1988).

Está ampliamente distribuido en gran número de minerales. Las mayores concentraciones, en general, se dan en forma de arseniuros de Cu, Pb, Ag y Au o como impurezas en sulfuros (WHO 1981). Es además un componente ubicuo en sistemas geotermales tanto activos como fósiles, donde aparece junto a Hg, Sb, Se, Tl, B, Li, F y H₂S, todos ellos reconocidos actualmente como contaminantes de origen geotermal (Webster y Nordstrom 2003). El As es un elemento utilizado en la prospección de yacimientos, principalmente de oro (Wells et al. 1969; Rose et al. 1979).

Se estima que del total de As contenido en los diferentes reservorios naturales (rocas, océanos, suelos, biota, atmósfera), más del 99 por ciento está asociado con rocas y minerales. Hay, sin embargo, una gran variedad de concentraciones, dependiendo del tipo de roca, y las rocas sedimentarias contienen generalmente niveles de As más elevados que las rocas ígneas (Bhumbla y Keefer 1994).

Respecto a los minerales, en los sulfuros se encuentran concentraciones de As superiores a 10^5 mg/kg y en los óxidos de hierro pueden superarse concentraciones de 7.6×10^4 mg/kg. (Smedley y Kinniburgh 2002; Welch y Stollenwerk 2003). Los principales minerales que contienen As son arsenopirita (FeAsS), rejalgar (As_4S_4) y oropimente (As_2S_3) (Carbonell et al. 1995).

Tabla 3: Rangos típicos de concentraciones de As en los minerales formadores de roca

Mineral	As (mg/kg)	Mineral	As (mg/kg)
Sulfuros		Silicatos (continuación)	
Pirita	100 - 77,000	Anfíboles	1.1-2.3
Pirrotita	5-100	Olivinos	0.08-0.17
Marcasita	20-126,000	Piroxenos	0.05-0.8
Galena	5-10,000	Carbonatos	
Esfalerita	5-17,000	Calcita	1.8
Calcopirita	10-5,000	Dolomita	<3
Óxidos		Siderita	<3
Hematites	Hasta 160	Sulfatos	
Oxi-hidróxidos de Fe (III)	Hasta 76,000	Yeso/Anhidrita	<1-6
Magnetita	2.7-4.1	Barita	<1-12
Ilmenita	<1	Jarosita	34-1000
Silicatos		Otros minerales	
Cuarzo	0.4-1.3	Apatita	<1-1000
feldespato	<0.1-2.1	Halita	<3-30
Biotita	1.4	Fluorita	<2

FUENTE: Smedley y Kinniburgh (2002).

Aquellos suelos que están sobre depósitos de minerales sulfurados pueden tener concentraciones de varios cientos de mg/kg de dicho elemento. Los valores, usualmente, varían dentro del intervalo de 300 a 5000 ppm (Wild 1974); siendo el máximo estudiado de 8000 mg/kg (Levander 1977). Otras zonas donde se dan con frecuencia altas concentraciones de As son los suelos procedentes de roca madre de origen volcánico (Ferguson, y Gavis 1972).

Tabla 4: Rangos típicos de concentraciones de As en rocas, sedimentos, suelos y otros depósitos superficiales

Roca/ tipo de sedimento	As (mg/kg)
Rocas ígneas	
Ultra básicas	0.03-15.8
Básicas	0.06-113
Intermedias	0.09-13.4
Ácidas	0.2-15
Rocas metamórficas	
Cuarcita	2.2-7.6
Corneanas	0.7-11
Filitas y pizarras	0.5-143
Esquistos/gneis	< 0.1-18.5
Anfibolita y greenstone	0.4-45
Rocas sedimentarias	
Lutitas marinas/fangolitas	3-15 (hasta 490)
Lutitas (dorsal atlántica)	48-361
Lutitas no-marinas	3 a 12
Areniscas	0.6-120
Calizas/dolomitas	0.1-20.1
Fosforitas	0.4-188
Formaciones de Fe y sedimentos ricos en Fe	1-2,900
Evaporitas (yeso/anhidrita)	0.1-10
Carbones	0.3-35,000
Sedimentos no consolidados	
Arenas aluviales (Bangladesh)	1.0-6.2
Arcillas aluviales (Bangladesh)	2.7-14.7
Sedimentos de lago	0.5-44
Till glaciales	1.9-170
Promedio mundial sedimentos en río	5
Limos de ríos y lagos	< 1-72
Limos loésicos (Argentina)	5.4-18
Sedimentos de margen continental	2.3-8.2
Suelos	
Mezcla de suelos	0.1-55
Turba y pantanos	2-36
Turba	hasta 9
Suelos ácidos sulfatados	1.5-45
Suelos cercanos a depósitos de sulfuros	2-8,000
Depósitos superficiales contaminados	
Sedimentos de lagos contaminados (minería)	80-1,104
Sedimentos del tanque de relave (minería)	396-2,000
Suelos contaminados por los relaves	120-52,600
Sedimentos contaminados por la industrias	0.38-1,260
Suelos debajo de fábricas de productos químicos	1.3-4,770

FUENTE: Smedley y Kinniburgh (2002).

Asimismo se puede añadir, que el As se libera en el medio ambiente de manera natural a través de la meteorización y erosión de los sulfuros minerales. Estos sulfuros minerales pueden formar suelos con concentraciones muy altas de As (Wang y Mulligan 2006). Aproximadamente el 25% de las emisiones de As hacia la atmósfera procede de fuentes naturales, principalmente de los volcanes. La mayor parte del As liberado llega a los suelos (Matschullat 2000).

Aunque el As es estable en condiciones reductoras (forma trivalente), no es frecuente encontrarlo en su estado fundamental. La forma oxidada, arseniato, aunque es la más abundante en la naturaleza (se encuentra normalmente en depósitos sedimentarios), está fuertemente enlazada a los minerales del suelo, particularmente a los óxidos e hidróxidos metálicos coloidales, mediante enlaces iónicos (Wauchope 1983). La adsorción de arseniatos a los óxidos de hierro es muy fuerte y puede ser apreciable incluso a concentraciones muy bajas de As en la solución (Goldberg 1986; Hiemstra 1996).

El As, es un elemento esencial para el desarrollo de algunos organismos y promueve el crecimiento de ciertos animales. Afortunadamente sus formas más tóxicas son muy poco frecuentes en los suelos. La movilidad del As en los suelos es mínima y, en medios oxidantes, la forma AsO_4^{3-} es la más abundante, comportándose como un ácido débil que tiende a ser ligando de unión y formar sales insolubles (Bohn et al. 1985). A diferencia de la mayoría de los elementos, las variaciones de pH afectan poco su solubilidad, en algunos suelos y a pH bajos (con predominio de cargas positivas), podrían darse las condiciones apropiadas para la retención de As en posiciones de intercambio. El As se encuentra a menudo asociado a óxidos e hidróxidos en los suelos (McLaren et al. 2006).

Algunos autores han propuesto concentraciones de fondo de As en suelo de hasta 10-40 mg/kg en zonas sin anomalías litológicas (Fitz y Wenzel 2002), estimándose una concentración media en la pedósfera de 5-8 mg/kg (Matschullat 2000). Singularmente existen zonas que por motivos naturales o antropogénicos muestran niveles extraordinariamente altos de As en suelos, con unas concentraciones entre 0,1 y 2 por ciento de As en los suelos (Chang et al. 2005; Ongley et al. 2007; Antosiewicz et al. 2008; King et al. 2008).

2.2.4. Alteraciones epitermales

En un amplio sentido, los depósitos epitermales son definidos como productos relacionados a volcanismo con actividad hidrotermal a poca profundidad y bajas temperaturas, (Guilbert y Park 1986). Simmons et al. (2005), especificaron que aquellos depósitos epitermales de baja profundidad, en sistemas hidrotermales de altas temperaturas se desarrollaron en arcos volcánicos; por otro lado, Sillitoe (1977) asegura que en su totalidad, los depósitos epitermales están asociados directamente a márgenes de subducción activos, en diferentes épocas geológicas.

Un gran número de depósitos epitermales están asociados a estructuras de origen volcánico, en especial calderas y complejos andesíticos. Así mismo, existe un importante control de éste tipo de depósitos por parte de fallas de escala regional, en zonas de intenso fracturamiento dentro de un régimen extensional (Nieto-Samaniego et al. 2005). Dichas fallas determinan la localización de los depósitos y actúan como guía para el emplazamiento de la fuente de calor magmática necesaria para la subsecuente actividad hidrotermal (Henley y Hedenquist 1986), que controla la duración de dicha actividad. Pero, aunque las fallas de orden mayor ejercen un control directo sobre el emplazamiento de la mineralización, ésta suele disponerse de forma preferencial en fallas subsidiarias (White y Hedenquist 1990).

Los depósitos epitermales de alta sulfuración son desarrollados en un ambiente magmático-hidrotermal, dominado por fluidos hidrotermales ácidos, donde hay un fuerte flujo de líquido magmático y vapor, conteniendo: H_2O , CO_2 , HCl , H_2S y SO_2 ; con aporte variable de aguas meteóricas (Henley y Ellis 1983). Los fluidos circulan hacia la superficie a través de fracturas en las rocas y la mineralización a menudo se presenta en esos conductos (mineralización estructuralmente controlada), pero también pueden circular por niveles de rocas permeables y eventualmente mineralizar ciertos estratos (Hedenquist et al. 2000).

En la Figura 9 se presenta un esquema general del proceso geológico de las alteraciones hidrotermales.

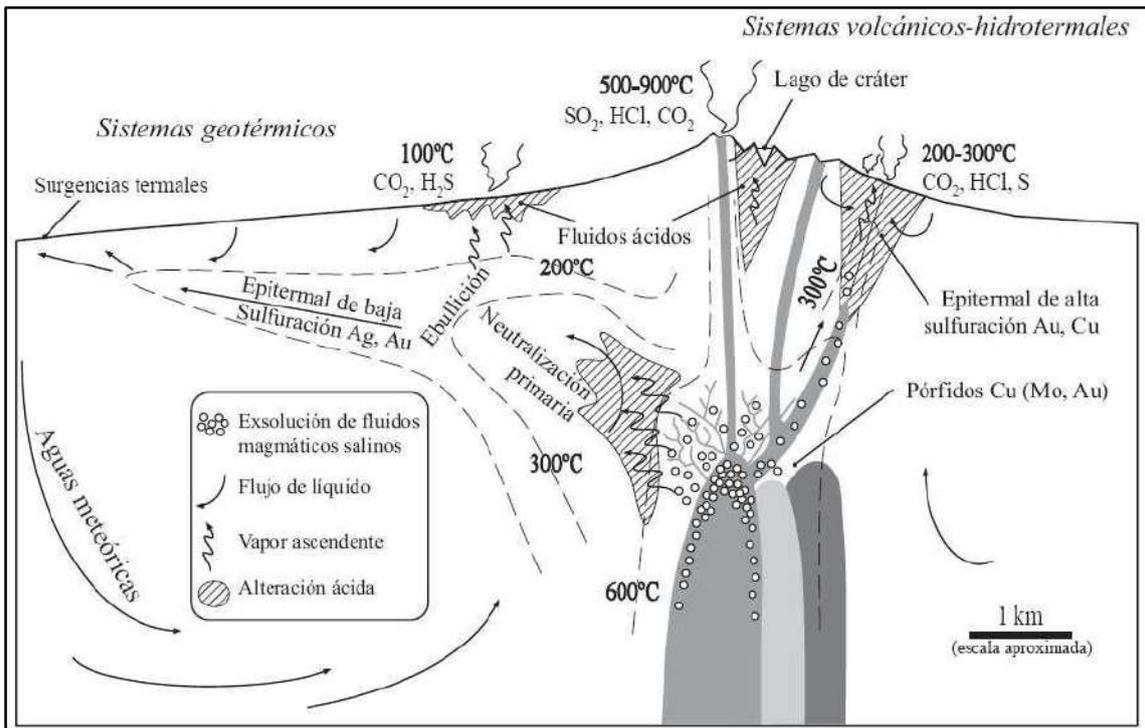


Figura 9: Esquema geológico de las alteraciones hidrotermales

FUENTE: Camprubi y Albinson (2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

- Información histórica de línea base ambiental de Yanacocha.
- Resultados de concentraciones totales (mg/kg) de As obtenidos en la exploración geológica de suelo y roca (cateos superficiales).
- Resultados históricos de muestreo de calidad de Topsoil.
- Mapas e información geológica de Yanacocha.
- Imágenes satelitales de Google Earth.
- Softwares: ArcGis 10.1, Geosoft Target 3.5, Minitab 18, Word 2013 y Excel 2013.
- Laptop para el procesamiento de la data.

3.2. MÉTODO

Para el presente trabajo de investigación se utilizó información secundaria de diversos estudios y documentos. Para ello se recopiló, organizó y procesó la información geológica y de línea base de Yanacocha; con la finalidad de determinar los niveles de fondo y relacionar la presencia de As total (mg/kg) en el Topsoil no intervenido de Yanacocha, con su geología y otras variables edáficas; para ello se siguió la siguiente metodología (Figura 10):

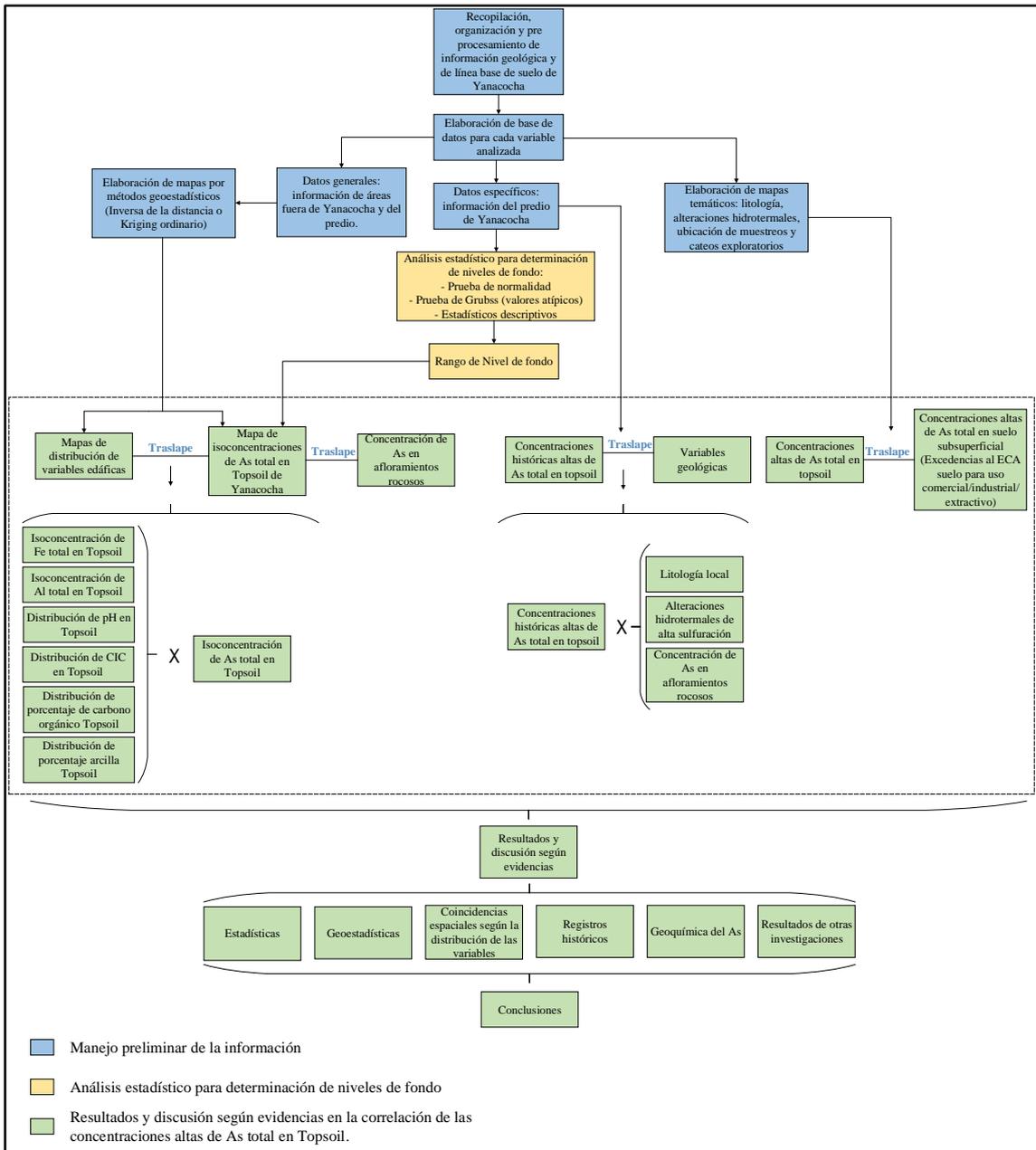


Figura 10 Flujograma de la metodología para determinación del nivel de fondo y distribución de As total en el topsoil de Yanacocha

3.2.1. Preliminar

Recopilación y pre procesamiento de información

Esta etapa involucró la revisión de estudios y documentos de Yanacocha con el objetivo de recopilar información de línea base y muestreos históricos, considerando que los resultados obtenidos de las diversas fuentes, se originaron en zonas no intervenidas⁴ en el momento de captación de la información (Tabla 5).

Tabla 5: Fuentes de información

Fuente	Año
Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Yanacocha.	2019
Actualización del Estudio de Impacto Ambiental del Sector Operativo China Linda.	2016
Informe de identificación de sitios contaminados UEA Chaupiloma Sur y UEA China Linda.	2016
Estudio de suelos y fisiografía a unidad minera Yanacocha sector operativo china linda.	2016
Estudio de Suelos Sector Suplementario Yanacocha Este.	2016
Quinta Modificación del Estudio de Impacto Ambiental: ampliación del proyecto Carachugo suplementario Yanacocha este.	2015
Tercera modificación del Estudio de Impacto Ambiental: Suplementario Yanacocha oeste.	2013
Cuarta modificación del Estudio de Impacto Ambiental: Suplementario Yanacocha Este.	2013
Segunda modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Negro.	2011
Alteración Hipógena, Mineralogía de Sulfuro y Distribución de Metales en Depósito Epitérmico de Alta Sulfuración-Cerro Yanacocha, Norte del Perú.	2011
Monitoreos de suelo del Plan de Cierre de Mina.	2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013
Estudio de suelos y uso actual.	2003 y 2010
Resultados de exploraciones geológicas.	desde 1991
Mapas alteraciones hidrotermales de alta sulfuración.	-
Mapa de litología local.	-

⁴ Se consideran zonas intervenidas: caminos, cierres, zonas con eventos ambientales de derrames, componentes o depósitos de material.

Con esta información se elaboró la base de datos para cada variable analizada (Anexo 4). Asimismo se efectuó la limpieza de datos para eliminar errores, repeticiones u otros, que tuvo la información base. Como resultado de esta etapa se obtuvo dos tipos de datos:

- Datos generales: involucran resultados históricos en áreas no intervenidas dentro de Yanacocha, y áreas fuera del predio.
- Datos específicos: involucran resultados históricos del predio de Yanacocha en áreas no intervenidas.

Con la base de datos (Anexo 4) se elaboró mapas de isoconcentraciones o de distribución para cada variable analizada:

- Concentraciones georeferenciadas de As (mg/kg) en afloramientos rocosos, elaborada con datos generales.
- Concentraciones georeferenciadas de As total (mg/kg) en Topsoil, elaborada con datos generales (Anexo 3: Tabla 3-1).
- Concentraciones georeferenciadas de Al y Fe total (mg/kg) en Topsoil, elaborada con datos generales (Anexo 3: Tabla 3-2).
- Tablas de información edáfica georeferenciada de Topsoil: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de carbono orgánico y porcentaje arcilla, elaborada con datos generales (Anexo 3: Tabla 3-3).

Elaboración de mapas y procesamiento de información

Mapas temáticos base: se elaboraron con el software ArcGis 10.1, utilizando la información geológica y con los datos generales:

- Mapa de litología local
- Mapa de alteraciones hidrotermales
- Mapa de ubicación de cateos y muestreos de Topsoil.

- Mapa de ubicación de cateos en afloramientos rocosos.

Mapas de isoconcentración o de distribución por métodos geoestadísticos: estos mapas son representaciones que proporcionan un acercamiento de la distribución de una variable en un tiempo dado. Para ello se utilizó el software ArcGis 10.1 y la aplicación complementaria Geosoft Target 3.5:

- Mapa de isoconcentración de As total en afloramientos rocosos, se elaboró con la misma información del mapa de ubicación de cateos en afloramientos rocosos (Anexo 5-1).
- Mapa de isoconcentración de As total en Topsoil. Se elaboró con la misma información del mapa ubicación de cateos y muestreos de Topsoil (Anexo 5-2). Para ello se consideró la transformación de los datos generales, de continuos a discretos, es decir los datos obtenidos como rangos (menores al límite de detección o resultados de cateos): <0.01 mg/kg, <0.4 mg/kg, 2 – 50 mg/kg, etc; se imputaron respectivamente al límite superior del rango respectivo: 0.01 mg/kg, 0.4 mg/kg, 50 mg/kg, etc.
- Mapa de isoconcentración de Fe total en Topsoil.
- Mapas de distribución de pH, CIC, porcentaje de carbono orgánico y porcentaje arcilla.

La elaboración de estos mapas siguieron los métodos geoestadísticos: kriging ordinario de predicción, el cual busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos (Murillo et al. 2012) o el método de interpolación por la inversa de la distancia ponderada, parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar (Cañada 2008).

3.2.2. Análisis de información para determinación de niveles de fondo

El criterio estadístico para la derivación de los niveles de referencia, dependerá de las características edáficas específicas en un área geográfica y del tipo de distribución de los datos de concentración de metales (Brizuela y Jiménez 2012).

Análisis estadístico

Para la determinación de los niveles de fondo, se consideró un rango general, más no un valor único y puntual; ya que de acuerdo a la geología de Yanacocha, es una zona mineralizada de manera heterogénea. En ese sentido el mapa de isoconcentraciones de As total en Topsoil, nos proporciona un acercamiento de la distribución del rango determinado. Para ello se efectuaron los siguientes estadísticos descriptivos: media, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo. Estos análisis se realizaron con los datos específicos, sin considerar los valores inferiores al límite de detección, ya que estos son datos continuos no definidos. Asimismo se emplearon únicamente datos específicos (predio de Yanacocha), considerando que la información recopilada de las diversas fuentes, provienen de zonas no intervenidas⁵ en el momento de captación de sus respectivas muestras. En total se procesaron y analizaron 151 datos históricos de calidad de Topsoil en áreas no intervenidas de Yanacocha.

Cabe resaltar que en general los métodos estadísticos asumen que la distribución de los datos es aproximadamente normal; sin embargo, en la mayoría de los casos la distribución está positivamente sesgada y es la transformación logarítmica la que mejor se ajusta a una distribución normal (Ahrens 1954). Para el análisis de normalidad se efectuó el test de Anderson-Darling e histogramas, los cuales permitieron efectuar el ajuste logarítmico necesario. Luego, mediante la prueba de Grubbs para los datos transformados, se reconoció los valores que corresponden a una distribución regional (Nivel de Fondo), y cuales serían valores atípicos. Estos últimos estarían originados por un proceso o fuente diferente y,

⁵ Se consideran zonas intervenidas: caminos, cierres, zonas con eventos ambientales de derrames, componentes o depósitos de material.

estadísticamente pertenecerían a una población distinta (Hampel et al. 2005; Barnett y Lewis 1994).

Correlación de las concentraciones altas de As total en Topsoil

Con el objetivo de evidenciar la coincidencia espacial entre las concentraciones de As total altas, con la geología; se efectuó el traslape de los puntos georeferenciados con altas concentraciones de As total con la litología local, alteraciones hidrotermales e isoconcentraciones de As en afloramientos. Asimismo, se efectuó un análisis similar para las concentraciones altas de As total y las variables edáficas: Fe total, pH, CIC, porcentaje de carbono orgánico y porcentaje de arcilla.

Estos análisis se efectuaron con los siguientes datos específicos:

- Concentraciones de As total de 101 a 500 mg/kg. Para cateos exploratorios de suelo.
- Concentraciones de As total superiores a 140 mg/kg, consideradas excedencias al ECA suelo para uso extractivo (D.S. N° 011-2017 MINAM). Para muestreos históricos de suelo.

3.3. FACTORES DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se centró en las siguientes variables:

- En Topsoil: As total (mg/kg), Fe total (mg/kg), pH, capacidad de intercambio catiónico (cmol(+)/kg), porcentaje de carbono orgánico y porcentaje de arcilla.
- Geológicas: As total (mg/kg) en afloramientos rocosos, litología y alteraciones hidrotermales de alta sulfuración.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE FONDO

Prueba de normalidad

Como primer análisis se evaluó la normalidad de los datos, ya que mediante la prueba de Anderson-Darling, se evidenció que estos no presentaron distribución normal. Para ello se efectuó la transformación logarítmica en base 10 de la concentración de As total (mg/kg) en Topsoil (Figura 10). Un tratamiento estadístico, comportamiento y resultado similar fue reportado por Carranza (2009), para la concentración de As total (mg/kg) en el distrito de Aroroy – Filipinas.

En la Figura 11, los gráficos a la izquierda presentan la prueba de normalidad y el histograma de frecuencias para la concentración de As total, aquí se evidencia que estos datos presentan una distribución no normal; sin embargo, a la derecha se observa el resultado de la prueba de normalidad e histograma de frecuencias después de la transformación logarítmica de los mismos datos, aquí sí se puede evidenciar la distribución normal de datos.

De acuerdo a los resultados con transformación logarítmica se efectuó la prueba de Grubbs y la determinación de los estadísticos descriptivos.

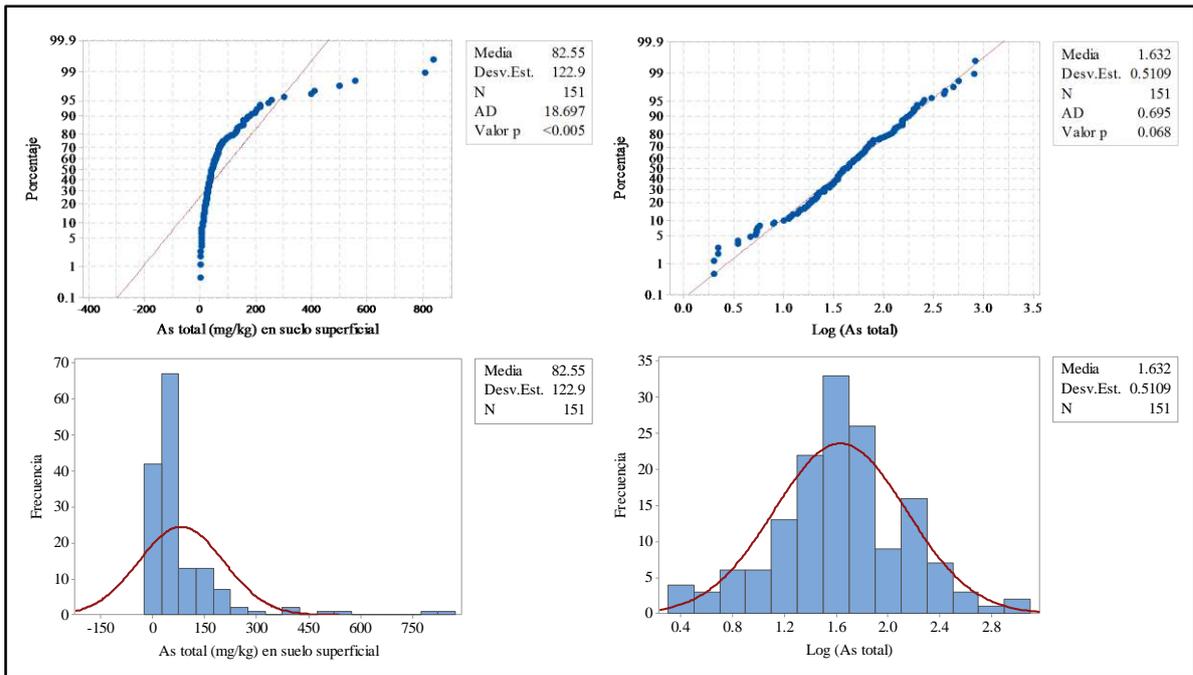


Figura 11: Gráfico de probabilidad e histogramas de distribución antes y después de la normalización por transformación logarítmica.

Prueba de Grubbs

Esta prueba se efectuó para determinar la presencia de valores atípicos en los datos de concentración de As total

- Hipótesis nula: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal.
- Hipótesis alterna: El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico
- Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

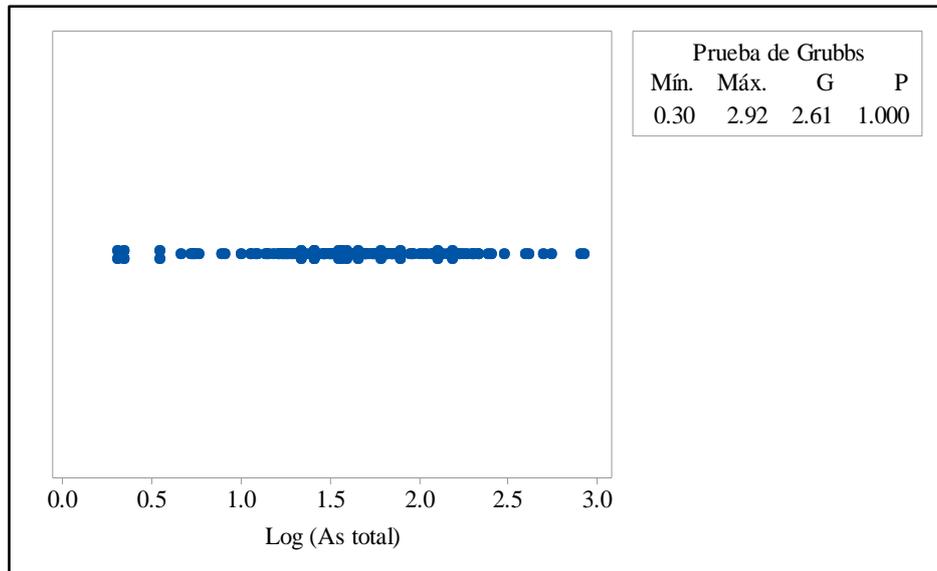


Figura 12: Gráfica general para identificación de valores atípicos

La prueba de Grubbs para identificar los posibles valores atípicos no detectó la presencia de estos ($P > \alpha$ o $1.000 > 0.05$), es decir estadísticamente todos los datos pertenecen a la misma población y no se considera que estos estén influenciados por fuentes externas (Figura 12), en ese sentido el mínimo y máximo se pueden considerar concentraciones de As total (mg/kg) de nivel de fondo. Este rango coincide con lo reportado por el NRCC (1978) en zonas cercanas a depósitos minerales, niveles de As en suelo pueden tener un promedio de 400 a 900 mg/kg.

Asimismo, en la Figura 12 se observa que todos los puntos representados tienen la misma coloración azul, no resaltando con otro color la presencia de algún valor atípico.

Estadísticos descriptivos

Los estadísticos descriptivos realizados para As total se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Concentración de As total en el Topsoil de Yanacocha

Datos	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Log (As total)	1.6323	1.6335	0.3010	2.9222	0.5109
As total (mg/kg) en Topsoil	42.88	43.00	2	836	3.24

De acuerdo a estos resultados, se puede evidenciar que existe un amplio rango de valores para la concentración de As total (mg/kg) en Topsoil de Yanacocha, que van desde 2 a 836 mg/kg, con media de 42.88 mg/kg y mediana de 43 mg/kg. Sin embargo, la distribución de este rango es heterogénea, en ese sentido el mapa de isoconcentraciones de As (Anexo 5-3) presenta un acercamiento de esta distribución; se puede observar que existen zonas definidas con las menores y mayores concentraciones de As, también se puede observar que existe heterogeneidad dentro de estas zonas.

4.2. CORRELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES ALTAS DE AS TOTAL EN TOPSOIL

De acuerdo a la litología local, en todo Yanacocha existe la presencia de material de origen volcánico y morrénico, ambos influenciados en diferentes grados por las alteraciones hidrotermales de la zona.

??

F

En las figuras 13 y 14 se puede observar que los puntos de cateos exploratorios de Topsoil con mayor concentración de As total y los puntos de muestreo histórico con excedencias al ECA suelo para uso industrial, comercial o extractivo; se ubicaron sobre material volcánico, depósitos morrénicos o sobre zonas de alteraciones hidrotermales. Asimismo se aprecia que la mayoría de estos puntos se presentaron sobre fallas geológicas locales o están muy cerca a estas, considerando lo descrito por Nieto-Samaniego et al. (2005) y por White y Hedenquist (1990); los fluidos hidrotermales se desplazan precisamente por fallas, con la consecuente alteración de las rocas y el enriquecimiento de estas; no obstante no se puede afirmar que las concentraciones altas se presenten a lo largo de todas las fallas o en todas las fallas. Una clara evidencia de estas afirmaciones se presenta en la Figura 15, donde se observa la coincidencia de los afloramientos rocosos enriquecidos con As y los puntos mencionados. Asimismo Pilco (2011) reportó concentraciones de As de hasta 4,000 mg/kg en la roca del subsector Cerro Yanacocha y de acuerdo a los registros históricos de las exploraciones mineras en afloramientos de Yanacocha, se tienen concentraciones de As en roca de hasta 31,900 mg/kg. Adicionalmente, según Camprubí et al. (2003) la extensión de las zonas de alteración de alta sulfuración se presenta en áreas extensas (comúnmente varios kilómetros), el carácter de la mineralización es diseminada y los metales predominantes son: Cu, Au, As (Ag, Pb); precisamente Yanacocha extrae Au, Cu y Ag, y la presencia de los minerales de interés económico están asociados al As.

De acuerdo a Kabata-Pendias y Pendias (1992) la distribución en suelos de elementos traza vendrá condicionada por la concentración natural del material original. En ese sentido, como consecuencia de las concentraciones de As del material parental de la zona, corresponde que los procesos pedogenéticos locales formaron suelos con características y propiedades heredadas de este material, una de estas características sería el contenido de metales y metaloides. Una evidencia de esta afirmación se presenta al contrastar el mapa de isoconcentraciones de As total en Topsoil (Anexo 5-3) y As total en afloramientos rocosos (Anexo 5-4).

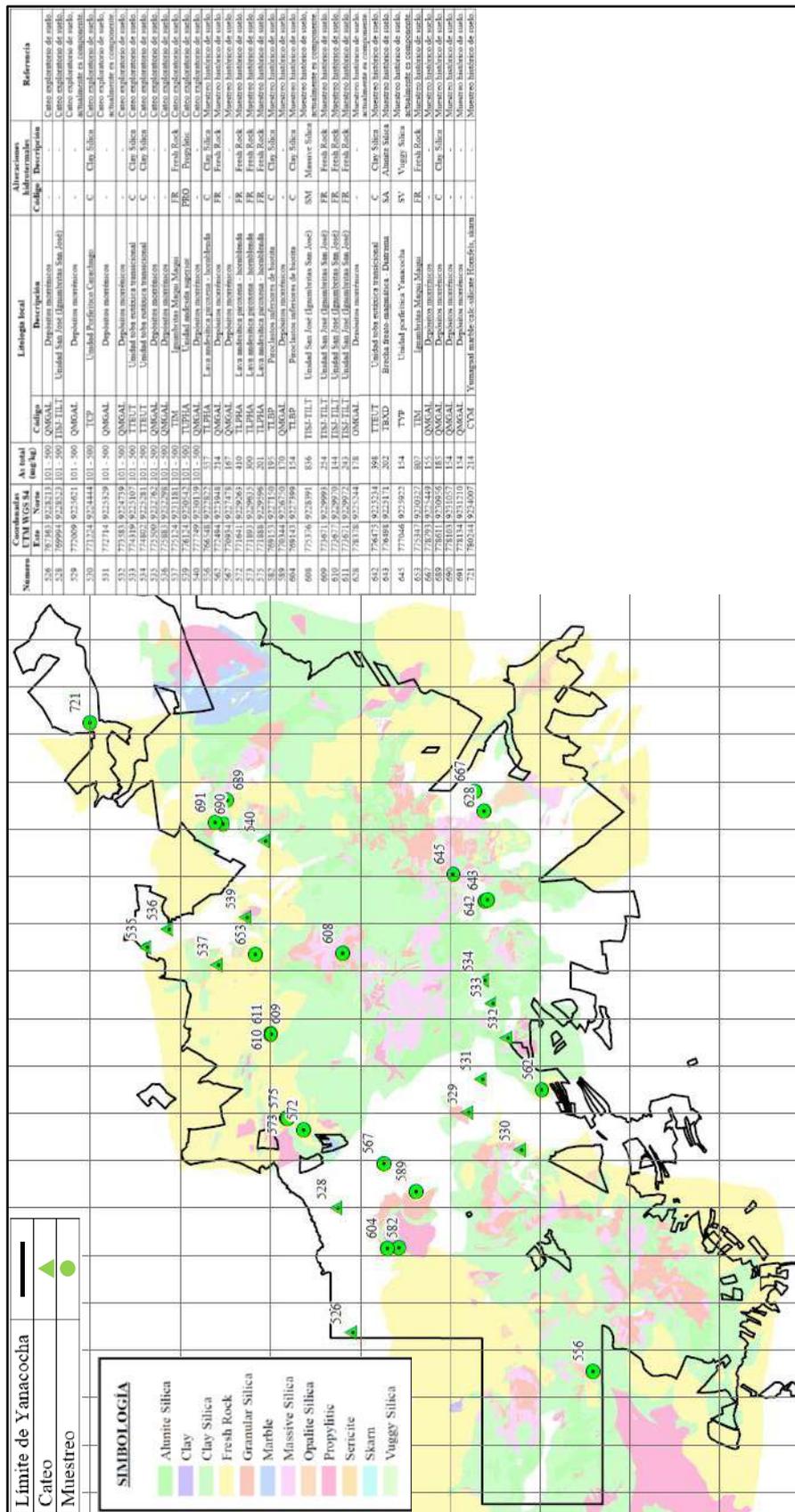


Figura 14: Alteraciones hidrotermales - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias en As total al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo.

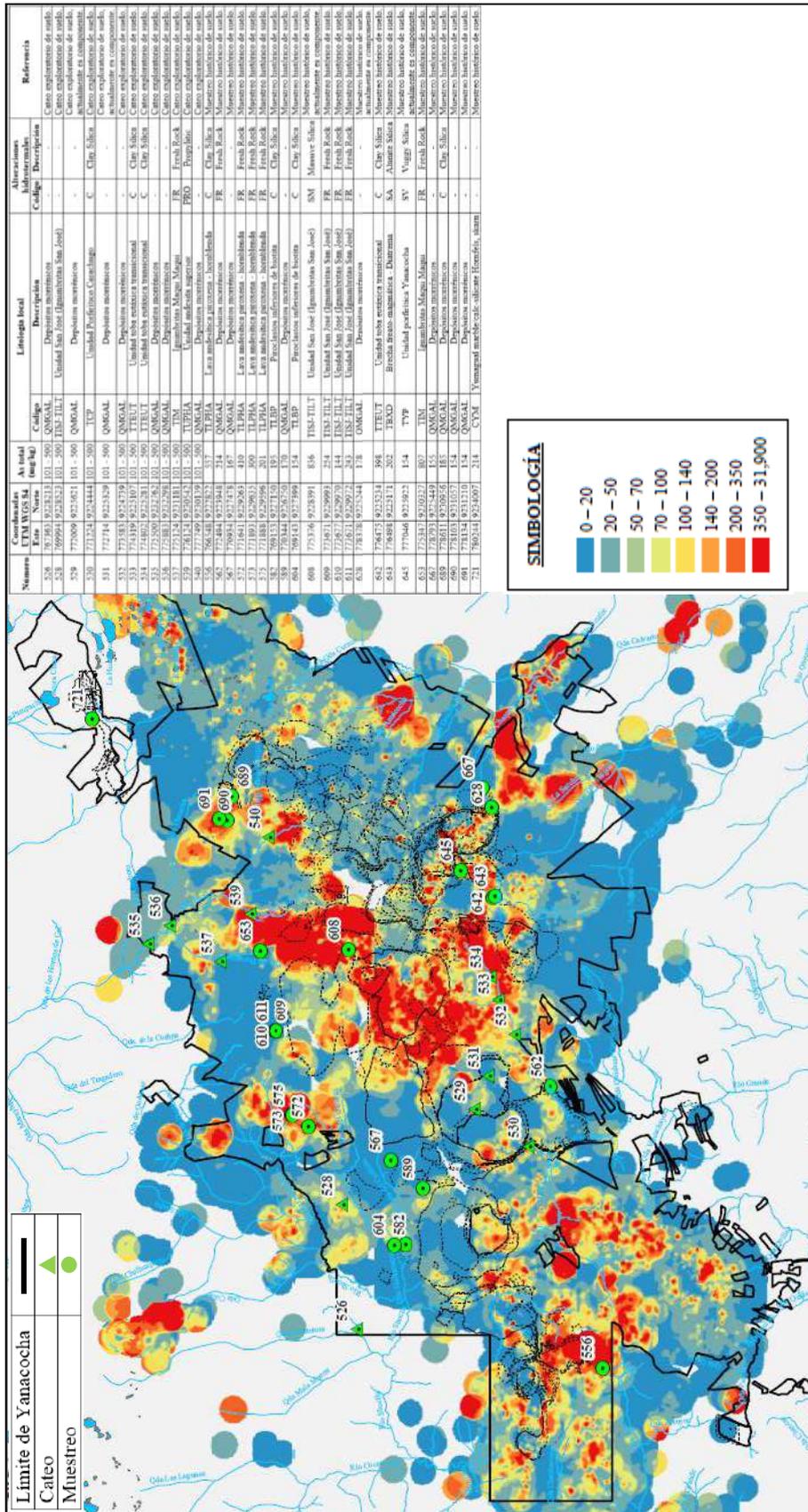


Figura 15: Concentración de As en afloramientos - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo en As total.

Otra evidencia que las concentraciones de As total en Topsoil son niveles de fondo, se observa en la Figura 16, donde se aprecia la coincidencia de zonas con altas concentraciones de As total en Topsoil y en suelo sub superficial.

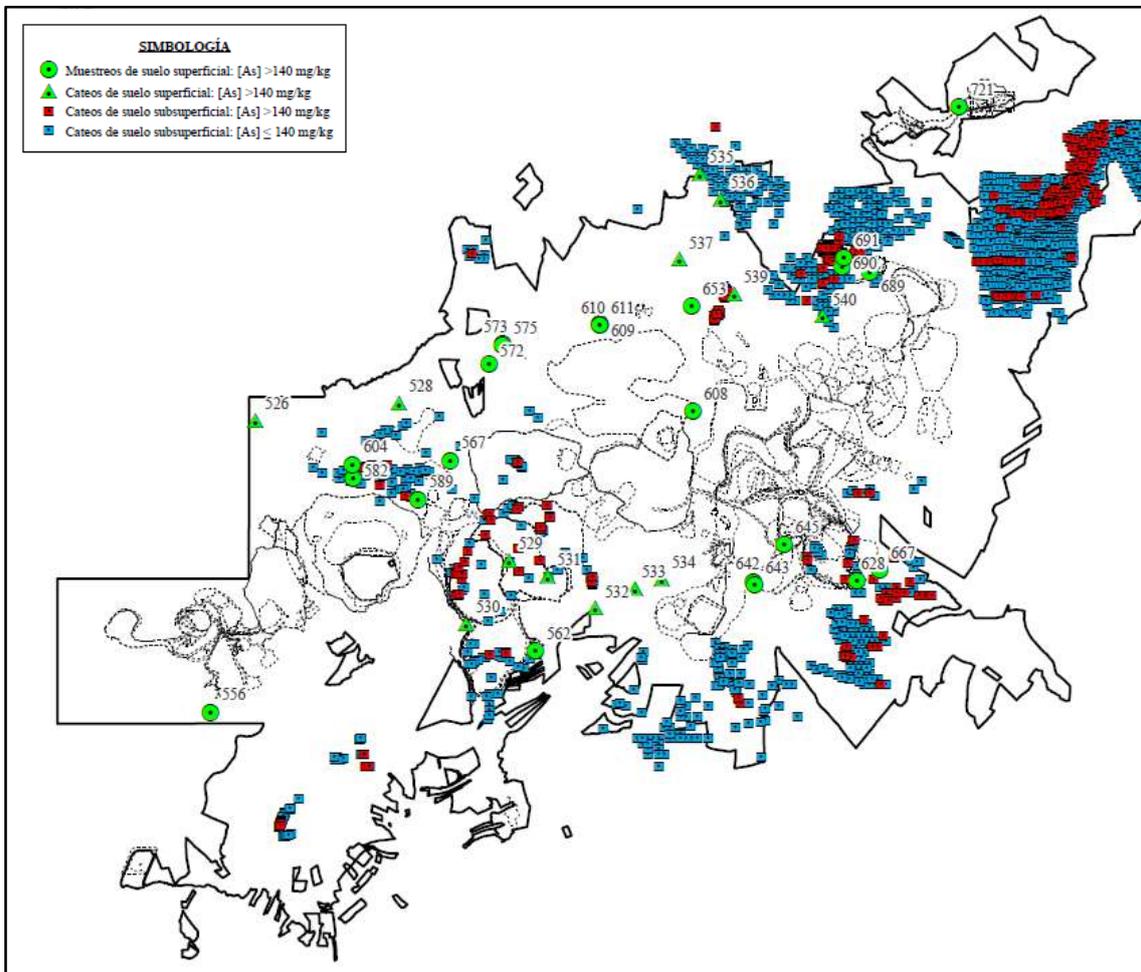


Figura 16: Concentración de As total en suelo sub superficial - ubicación de cateos exploratorios con mayores concentraciones de As total y muestreos de Topsoil con excedencias al ECA suelo (D.S. N° 11-2017-MINAN) para uso comercial, industrial o extractivo en As total.

FUENTE: Registros históricos de muestreos de suelo y cateos exploratorios en suelo, Yanacocha.

Por otra parte, Carbonell et al. (1995) menciona que la capacidad de adsorción de As de un suelo está afectada por su textura, contenido de sesquióxidos (óxidos de Fe y Al) y por la presencia de otros elementos que puedan interferir en el proceso de adsorción (MO, CIC, carbonatos, sulfatos y fosfatos).

Concentraciones altas de As están relacionadas más a menudo con suelos ricos en materia orgánica (MO) (Kabata-Pendias 2011). De acuerdo con esto, en el mapa de distribución de carbono orgánico (Anexo 5-5) se observa que en todo Yanacocha existe predominancia por contenidos > 2.32 por ciento de carbono orgánico, o aproximadamente > 4 por ciento de MO, es decir contenidos medios a altos de MO.

Asimismo, el As está presente en numerosos compuestos de carácter orgánico, debido a la elevada estabilidad del enlace C-As bajo las condiciones medioambientales normales de pH y Eh (Carbonell et al. 1995). Considerando que en la mayoría del área del predio de Yanacocha el Topsoil presenta condiciones oxidadas (Anexo 3): El As en la forma oxidada (H_3AsO_4) se adsorbe fuertemente en minerales de carga variable, con máxima adsorción cerca de pH 4 (McBride 1994). A valores de pH en torno a 8 y superiores, tienen lugar significativas desorciones (Lumsdon 2001), de acuerdo con el mapa de distribución de pH (Anexo 5-6), predominan las zonas con pH extremadamente ácido (3.6 – 4.5). En suelos ácidos, los compuestos dominantes son: Al-As y Fe-As, mientras que en los suelos alcalinos predominan las especies de Ca-As (Kabata-Pendias 2011). Johnston y Barnard (1979) encontraron que la sorción de As en suelo preferentemente es: Fe-As $>$ Ca-As $>$ Al-As $>$ As soluble en agua.

Existen numerosos reportes y precedentes que indican la asociación entre el As y Fe, como por ejemplo: La fuerte asociación de As con Fe (principalmente goethita) en suelos tanto naturales como agregados fue informada por Norrish (1975). Se sabe que los iones de As se fijan fácilmente en suelos especialmente por hidróxidos de Fe y Al, la fracción de arcilla, compuestos de P y Ca, y MO (Huang 1975). Dudas (1987) observó que el As se asocia con formas tanto cristalinas como amorfas de óxidos de Fe y que las muestras de vetas y manchas de suelo enriquecidas en Fe contienen hasta 450 mg/kg. La correlación positiva de As con Fe_2O_3 , principales componentes del material del suelo amorfo, indica su estrecha asociación con FeO_x (Manaka 2006). Deschamps et al. (2003) destacó la función de los minerales de

Fe en la sorción de As. Los hidróxidos de Fe generalmente juegan un papel importante en el control de la concentración de As en los suelos (Kabata-Pendias y Sadurski 2004). Gran parte del As de los suelos está adsorbido sobre compuestos amorfos de Fe y Al (Fordham y Norris 1983). Woolson et al. (1971) encontraron que los suelos con un nivel elevado de Fe reactivo tienen gran número de enlaces Fe-As.

De acuerdo a los enunciados de diversos investigadores, al contrastar el mapa de isoconcentraciones de Fe total (Anexo 5-7) con el mapa de isoconcentraciones de As total (Anexo 5-3) se observa que las zonas con altas concentraciones de As frecuentemente coinciden con las mayores concentraciones de Fe, en ese sentido se puede evidenciar la relación existente entre estos parámetros. En cuanto a las concentraciones de Al total (Anexo 5-8), se observa que las concentraciones altas de As total principalmente se presentan en áreas con Al total entre 18,245 a 41,400 mg/kg, resaltando que la mayor parte de Yanacocha presenta estas concentraciones de Al total, en ese sentido no se aprecia claramente alguna focalización de As total en función del Al total.

Asimismo, los suelos tienen una capacidad de carga para metales pesados (Cheng et al. 2001). Carbonell et al. (1995) menciona que, la persistencia del As en el suelo, está controlada por la capacidad de adsorción del suelo y por las pérdidas que se puedan producir tanto por lavado o lixiviación. Las fracciones arena y limo muestran una capacidad de adsorción bastante reducida, mientras que las arcillas y los óxidos de Fe y Al son los principales adsorbentes. En cuanto al contenido de arcilla (Anexo 5-9), los puntos con concentraciones altas de As total se presentan en contenidos predominantes de 15 a 25 por ciento de arcilla, sin embargo no se evidencia una focalización clara entre las concentraciones de As total (Anexo 5-3) y este rango de porcentaje de arcilla, ya que la mayor parte del área de Yanacocha presenta este rango de arcilla. Un comportamiento

similar se encuentra al contrastar la distribución de la CIC (Anexo 5-10) y las isoconcentraciones de As total (Anexo 5-3), se puede apreciar que las concentraciones altas de As total se ubican principalmente entre 20 a 30 cmol+/kg, lo cual sugiere CIC altas, aunque esto no evidencia alguna focalización ya que en casi toda el área de Yanacocha se presentan CIC altas.

En resumen Yanacocha presenta las condiciones geológicas y edáficas que favorecen la presencia de suelos con contenidos naturales de As total altos. En ese sentido se puede entender que los procesos pedogenéticos locales proporcionaron las condiciones necesarias para que la interacción entre la geología y los principales parámetros edáficos determinen la distribución heterogénea del As en el Topsoil.

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la información bibliográfica de Yanacocha: geología, parámetros edáficos, investigación histórica de línea base y cateos exploratorios, y de las evidencias geoestadísticas y estadísticas; se considera con 95% de confianza que el rango de concentración de As total de 2 a 836 mg/kg, es natural ($p=0.068$), y es consecuencia de los procesos pedogenéticos locales. Los factores principales que determinarían estas concentraciones, serían la geología mineralizada de la zona, la cual está influenciada por alteraciones hidrotermales de alta sulfuración y los parámetros edáficos del Topsoil, principalmente el contenido de Fe total, pH y carbono orgánico. No obstante, según la información de exploración geológica, no se descarta que potencialmente existan concentraciones naturales superiores al rango determinado.
- La distribución de As total en el Topsoil de Yanacocha es heterogénea, se focaliza principalmente en zonas de depósitos morrénicos, áreas cercanas al material parental que presenta concentraciones altas de As (>140 mg/kg), cercanía a fallas geológicas locales, y coincidentemente con los siguientes parámetros edáficos predominantes: pH extremadamente ácido (3.6 a 4.5), altos contenido de Fe ($>20,000$ mg/kg) y medios a altos contenidos de carbono orgánico ($>2.32\%$). Asimismo las zonas con mayores concentraciones de As total presentan una distribución no uniforme.
- De acuerdo a los resultados del modelamiento geoestadístico para la concentración de As total en el Topsoil de Yanacocha, se considera que el método de Kriging ordinario fue más representativo para graficar la distribución de este parámetro, ya que presentó menor cuadrado medio del error (89.70), en comparación al método de inversa de la distancia (100.94).
- En esta investigación se muestra la relevancia del uso de los métodos geoestadísticos: Kriging e inversa de la distancia, los cuales son herramientas potentes para integrar y evidenciar las distribuciones de metales y metaloides en el suelo. Asimismo permite integrar la información disponible manteniendo la posibilidad de actualizar los resultados con nueva información y mejorar así los modelos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda obtener mayor información de calidad de suelos en las áreas no intervenidas que presentan menor número de puntos de muestreo histórico, con el objetivo de tener una mejor cobertura de todo el predio de Yanacocha para actualizar y mejorar el modelo de distribución de isoconcentraciones de As en topsoil.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahrens, L. 1954. The log-normal distribution of the elements. *Geochim Cosmochim Acta*. 5: 49-73.

Antosiewicz, D., Escude-Duran, C., Wierzbowska, E., Sklodowska, A. 2008. Indigenous plant species with the potential for the phytoremediation of arsenic and metals contaminated soil. *Water, Air, & Soil Pollution*. 193: 197-210.

Barnett, V; Lewis, T. 1994. *Outliers in statistical data* 3rd edition. New York. Wiley & Sons. 582 p.

Bhumbla, D; Keefer, R. 1994. Arsenic mobilization and bioavailability in soils. *Advances in environmental science and technology*. 26: 51-82.

Bohn, H; McNeal, B; O'Connor, G. 1985. *Soil Chemistry*. Wiley interscience, Wiley, Nueva York. 341 p.

Breckenridge, R; Crockett, A. 1995. Determination of background concentration of inorganics in soils and sediments at hazardous waste sites. EPA/540/S-96/500. Washington, DC. 378 p.

Brizuela, J; Jiménez, Y. 2012. Metodologías aplicadas para el establecimiento de los niveles de referencia para metales pesados en la evaluación de la contaminación en suelos. 2: 101-109.

Brus, D; de Gruijter, J; Walvoort, D; de Vries, F; Bronswijk, J; Rómkens, P; de Vries, W. 2002. Mapping the Probability of Exceeding Critical Thresholds for Cadmium concentrations in Soils in the Netherlands. *Environmental Quality Journal*. 31:1875-1884.

Campubí, A; Albinson, T. 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo del Centenario Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales de México*. 58: 27-81.

Campubí, A; González-Partida, E; Levresse, G; Tritlla, J; Carrillo-Chávez, A. 2003. Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. 56: 10-18.

Cañada, R. 2008. *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Alfaomega.

Carbonell, A; Burló F; Mataix, J. 1995. *Arsénico en el Sistema Suelo-Planta Significado Ambiental*. 96 p.

Carranza, E. 2009. *Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry*. 368 p.

Chang, P; Kim, J.-Y; Kim, K.-W. 2005. Concentrations of arsenic and heavy metals in vegetation at two abandoned mine tailings in South Korea. *Environmental Geochemistry & Health* 27: 109-119.

Cheng, H.; Zheng, C.; Tu, C; Zhou, D. 2001. Studies on loading capacity of agricultural soils for heavy metals and its applications in China. *Applied Geochemistry*. 16, 1397-1403

Deschamps, E; Ciminelli, V; Weidler, P; Ramos, A. 2003. Arsenic sorption onto soils enriched in Mn and Fe minerals. *Clays Clay Minerals*. 51: 197–204.

Díez, M. 2006. Valores de Fondo de Elementos Traza en Suelos de la Provincia de Granada. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada, España. 200p.

Dudas, M. 1987. Accumulation of native arsenic in acid sulphate soils in Alberta, Canadian Soil Science Journal. 67: 317-331.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United States). 2015. Glossary of technical terms. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bc607e.pdf>

Ferguson, J; Gavis, J. 1972. A review of the arsenic cycle in natural waters. Water Research. 6: 1259-1274.

Fitz, W; Wenzel, W. 2002. Arsenic transformations in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. Journal of Biotechnology 99: 259-278.

Fuenzalida, M. 2015. Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM10 en Chile. Memoria XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, Parte I. 441-457.

Guilbert, J; Park, Ch. 1986. The Geology of Ore Deposits. New York: W. H. Freeman and Company. 985 p.

Goldberg, S. 1986. Chemical modeling of arsenate adsorption on aluminum and iron oxide minerals. Soil Science Society of America Journal. 50: 1154-1157.

Hampel, F; Ronchetti, E; Rousseeuw, P; Stahel, W. 2005. Robust statistics. The approach based on influence functions. New York: John Wiley & Sons. 509 p.

Harvey, B.A., Myers, S.A., Klein, T., 1999. Yanacocha gold district, northern Peru. En: Proceedings of the Pacrim'99 Congress, Bali, Indonesia: Parkville, Victoria, Australia, Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 445-459.

Hiemstra, T; van Riemsdijk, W. 1996. A surface structural approach to ion adsorption: the charge distribution, CD. Model. J. Colloid Interface Science. 179:488-508.

Hedenquist, J; Arribas, A; Gonzales-Urien, E. 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. 13: 245-277.

Henley, R; Ellis, A. 1983. Geothermal systems, ancient and modern: Earth Science Reviews. 19: 1-50.

Henley, R; Hedenquist, J. 1986. Introduction to the geochemistry of active and fossil geothermal systems. Monograph Series Mineral Deposits. 26: 129–145.

Horckmans, L; Swennen, R; Deckers, J; Maquil, R. 2005. Local background concentrations of trace elements in soils: A case study in the Grand Duchy of Luxembourg. Catena. 59: 279-304.

Huang, P. 1975. Retention of arsenic by hydroxy-aluminum on surface of micaceous mineral colloids. Journal Soil Science Society of America. 39: 271-274.

INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico). 2001. Boletín N° 23 Especial – Proyectos de Inversión Minera y Prospectos en Estudio. 158 p.

Kabata-Pendias A. and Pendias H. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press. 403 p.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth edition. CRC Press. 533 p.

Lancaster, R; Coup, M; Hugues, J. 1971. Toxicity of arsenic present in Lakeweed. New Zealand Vet. Journal. 19: 14-5.

Levander, O. 1977. Nutritional factors in relation to heavy metal toxicants. Federation Proceedings. 5: 1683-1687.

Lumsdon, D; Meeussen, J; Paterson, E; Garden, L; Anderson, P. 2001. Use of solid phase characterisation and chemical modelling for assessing the behaviour of arsenic in contaminated soils. Applied Geochemistry. 16: 571-581.

Manaka, M. 2006. Amount of amorphous materials in relationship to arsenic, antimony, and bismuth concentrations in a brown forest soil. Geoderma. 136: 75-86.

Matschullat, J. 2000. Arsenic in the Geosphere - A Review. Science of the Total Environment. 249: 297-312.

McBride, M. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press. 416 p.

McLaren, R; Megharaj, M; Naidu, R. 2006. Fate of arsenic in the soil environment. En: Naidu R. y col. Eds. Managing Arsenic in the Environment. From Soil to Human Health. CSIRO Publishing, Australia. 157-182.

Micó, C; Peris, M; Recatalá, L; Sánchez, J. 2007. Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region. Science of the Total Environment 378: 13-17.

Montero, J; Larraz, B. 2008. Introducción a la geoestadística lineal. Netbiblio, La Coruña. España. 142 p.

Moral, F. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias Ambientales. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. 13: 78-86.

Murillo, D; Ortega, I; Carrillo, J; Pardo, A; Rendón, J. 2012. Comparación de Métodos de Interpolación para la Generación de Mapas de Ruido en Entornos Urbanos. Revista Ingenierías USBMed. 3: 62-68.

NAS (National Academy of Sciences). 1977. Medical and biological effects of environmental pollutants: Arsenic. Press Washington, D.C.

NRCC (National Research Council Canada). 1978. In Effects of arsenic in the Canadian environment. NRCC 15391. Ottawa, Canada. 349 p.

Nieto-Samaniego, A; Alániz-Álvarez, S; Camprubí, A. 2005. La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. 52: 285-318.

Norrish, K. 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements, in Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems, Nicholas, D. J. D. and Egan, A. R., eds., Academic Press, New York. 55.

Nriagu, J; Pacyna, J. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water, and soils by trace metals. Nature 333: 134-139.

Ongley, L; Sherman, L; Armienta, A; Concilio, A; Ferguson Salinas, C. 2007. Arsenic in the soils of Zimapán, México. Environmental Pollution. 145: 793-799.

Peris, M. 2006. Estudio de Metales Pesados en Suelos bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. 436p.

Pilco, R. 2011. Alteración Hipógena, Mineralogía de Sulfuro y Distribución de Metales en Depósito Epitérmico de Alta Sulfuración-Cerro Yanacocha, Norte del Perú. Tesis Magister Scientiae en geología económica. 89 p.

Reay, P. 1972. The accumulation of arsenic from arsenic rich natural waters by aquatic plants. *Applied Ecology Journal*. 9: 557-565.

Rose, A; Hawkes, H; Webb, Y. 1979. *Geochemistry in mineral exploration*. Academic Press, Londres, Reino Unido. 657 p.

Rueda, G; Rodríguez, J; Madriñan, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metals pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta agronómica*. 60: 203-218.

Sillitoe, R. 1977. Permo-Carboniferous, upper Cretaceous and Miocene porphyry copper-type mineralization in the Argentinian Andes. *Economic Geology*. 72: 99-109.

Simmons, S; White, N; John, D. 2005. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits, in: *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado. 485-522.

Smedley, P; Kinniburgh, D. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 17: 517-568.

UNAL (Universidad Nacional de Colombia). 2010. *Introducción a la Geoestadística Teoría y Aplicación*. 94 p.

Tobler, W. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*. 46: 234-240.

Upton, G; Fingleton, B. 1885. *Spatial data analysis by example, volume 1: Point pattern and quantitative data*. John Wiley & Sons. Toronto, Canada. 410 p.

USDA (United States Department of Agriculture). 2015. *Glossary of Soil Survey Terms*.

Wang, S; Mulligan, C. 2006. Occurrence of Arsenic Contamination in Canada: Sources, Behavior and Distribution. *Science of the Total Environment*. 366: 701-721.

Wauchope, R. 1983. Uptake, translocation and phytotoxicity of arsenic in plants. In: *Arsenic: Industrial, Biomedical, Environmental Perspectives*. Eds. Lederer and Fensterheim. Arsenic Symposium, Gaithersburg, Maryland. Van Nostrand Reinhold Company. New York, N.Y. 348-375.

Webster, J; Nordstrom, D. 2003. Geothermal arsenic. 101-125. Eds. Welch, A; Stollenwerk, K. *Arsenic in ground water: Geochemistry and occurrence*. Kluwer, Boston, MA, EE. UU. 474 p.

Welch, A; Stollenwerk, H. 2003. *Arsenic in ground water: Geochemistry and occurrence*. Kluwer, Boston, MA, EE. UU. 474 p.

Wells, Y; Stoiser, L; Elliot, J. 1969. Geology and geochemistry of the Cortez gold deposit, Nevada. *Economy Geology*. 64: 526-537.

White, N; Hedenquist, J. 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for their exploration: *Journal of Geochemical Exploration*. 36: 445-474.

Wild, H. 1974. "Geobotanical anomalies in Rhodesia. 4. The vegetation of arsenical soils". *Kirkia*. 9: 243-64.

WHO (World Health Organization). 1981. *Environmental Health Criteria 18: Arsenic*. Geneva. Finland.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2003. *Estudio de suelos y uso actual*.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2009. *Informe de Monitoreo Post-cierre de suelos*.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2010. Estudio de Suelos y Uso Actual de la Tierra del Área de Propiedad de Minera Yanacocha.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2010. Informe de Monitoreo de suelos.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2011. Informe de Monitoreo de suelos.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2012. Informe de Monitoreo de la Biodiversidad Terrestre y Suelos - Informe Final de Calidad de Suelos.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2013. Informe de Monitoreo de la Biodiversidad Terrestre y Suelos - Informe Final de Calidad de Suelos.

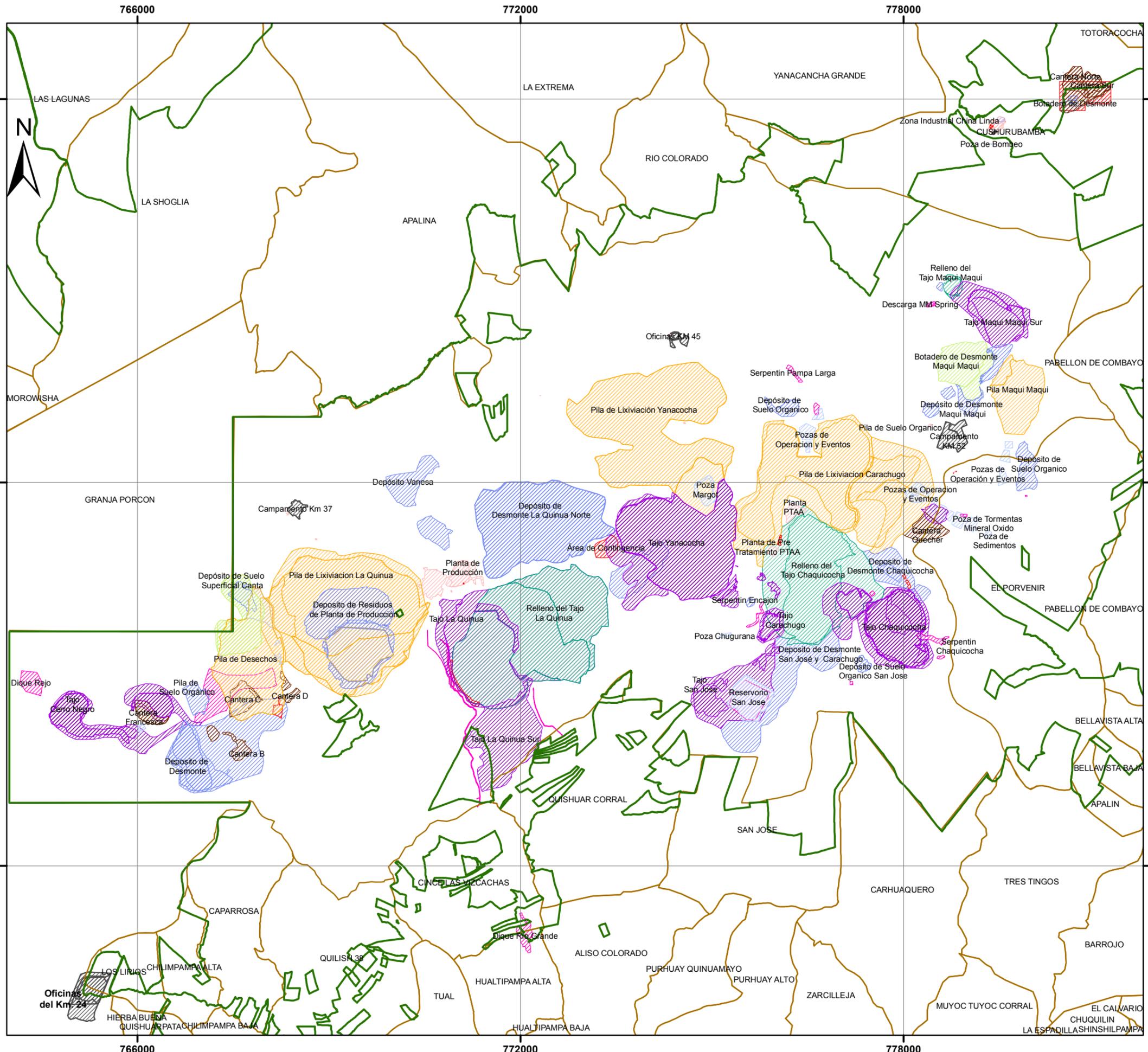
Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2013. III Modificación suplementario Yanacocha Oeste y IV Modificación del EIA Ampliación del Proyecto Carachugo Suplementario Yanacocha Este.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2015. Informe de Identificación de Sitios Contaminados de la UEA Chaupiloma Sur y UEA China Linda – Fase de Identificación.

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2016. Actualización del Estudio de Impacto Ambiental del Sector Operativo China Linda - Línea Base - Fisiografía, Suelos, Aire y Ruido

Yanacocha (Mínera Yanacocha SRL). 2019. Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Yanacocha.

ANEXO 1
PLANO DE FACILIDADES DE YANACUCHA



LEYENDA

Componentes

- Botadero
- Cantera
- Depósito
- Infraestructura Hidraulica y Manejo de Aguas
- Oficina y/o Campamento
- Otras Instalaciones
- Pila de Lixiviación
- Planta
- Poza
- Relleno del Tajo
- Tajo
- Topografía

Componentes	Nombre de facilidad	Coordenadas WGS 84	
		Este	Norte
Botadero	Botadero de Desmonte Maqui Maqui	779176	9229628
	Botadero de Desmonte China Linda	780688	9233953
Depósito	Botadero de Cerro Negro	767610	9225879
	Deposito de Suelo Organico Marleny-SYE	777245	9226374
	Deposito Temporal de Mineral Transicional Profundo Crater-SYO	773836	9226610
	Deposito de Caliza-China Linda	779526	9233687
	Deposito de Desmonte Cerro Negro	767426	9223896
Infraestructura Hidráulica	Dique Río Grande	770879	9225109
	Dique Rejo	764339	9224870
	Serpentin Carachugo	776637	9229153
	Oficinas KM 24	776602	9221970
Oficinas/Campamento	Campamento km 37	768491	9227592
	Campamento km 45	774422	9230294
	Campamento km 52	778779	9228725
	Oficinas y Campamento_China Linda	779426	9233484
Otras Instalaciones	Área de Contingencia_SYO	773350	9226979
	Área de Interes Operativo-China Linda	780822	9234075
Pila de Lixiviación	Zona de Acopio de Material y Zarandeo_Cerro Negro	768202	9224444
	Pila de Lixiviación Mineral Transicional-Carachugo	776899	9227987
	Pila de Lixiviación Yanacocha	771545	9227250
	Pila de Lixiviación Cerro Negro	768890	9225717
	Pila de Lixiviación Carachugo Etapa 10	777472	9228280
Plantas	Planta PTAA Este	776256	9227539
	Planta de Producción-SYO	770841	9226489
	Zona Industrial China Linda	779460	9233594
Pozas	Poza Chugurana-SYE	775207	9225611
	Poza de Bombeo-China Linda	779379	9233301
	Poza de Soluciones y Eventos Extremos_Cerro Negro	767917	9226039
Relleno	Poza Margot -SYO	774907	9227841
	Relleno del Tajo Chaquicocha	776612	9226483
	Relleno del Tajo La Quinua 2	772156	9225603
Tajo	Tajo San Jose	775383	9224709
	Tajo Chaquicocha	777896	9225699
	Tajo Maqui Maqui Sur	779490	9230512
	Tajo Yanacocha	774547	9227056
	Tajo Cerro Negro	766296	9224556
	Tajo La Quinua Sur	771761	9223989
	Tajo Marleny San José	775944	9225767
Tajo Carachugo	777012	9226009	
Tajo la Quinua	771962	9225007	

TÍTULO **PLANO DE FACILIDADES**

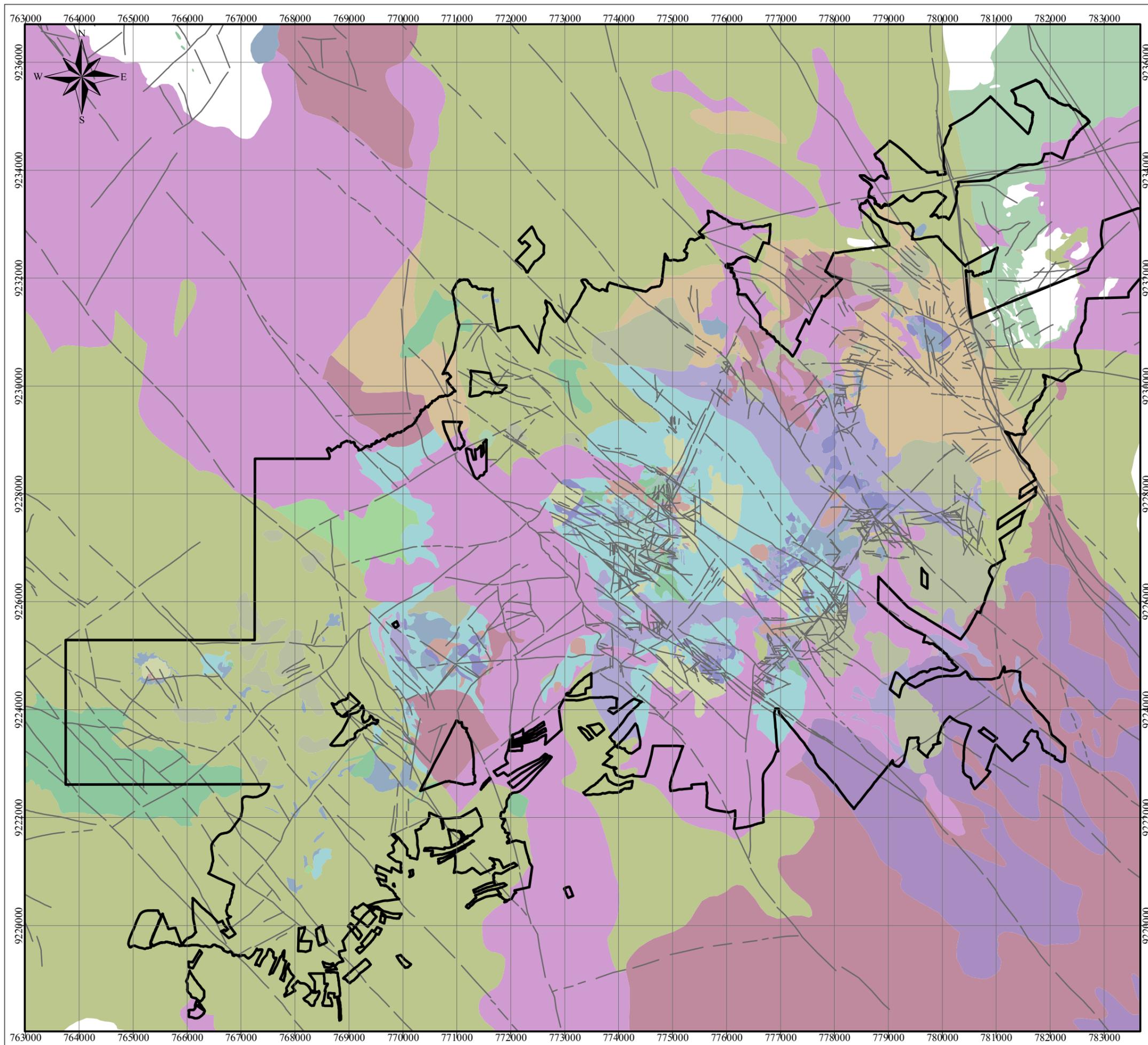
Revisado: Elaborado:

Jorge Luis Zúñiga Caycho Miriam Ivonne Bolaños Tauma

Fecha: Dic.- 2015 Sistema de Coordenadas: WGS84 - UTM ZONA 17 S

Escala: 1:60,000 Figura N°: 01

ANEXO 2
GEOLOGÍA DE YANACocha



UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

- CYM
- QMGAL
- TBXD
- TBXF
- TCP
- TIM
- TISJ-TILT
- TL
- TLBP
- TLPHA
- TTEUT
- TUD
- TUPHA
- TUTX
- TYP
- TYPQ
- TBYH

LEYENDA

- Límite de Yanacocha
- Fallas geológicas locales

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

Escala: 1:70,000



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

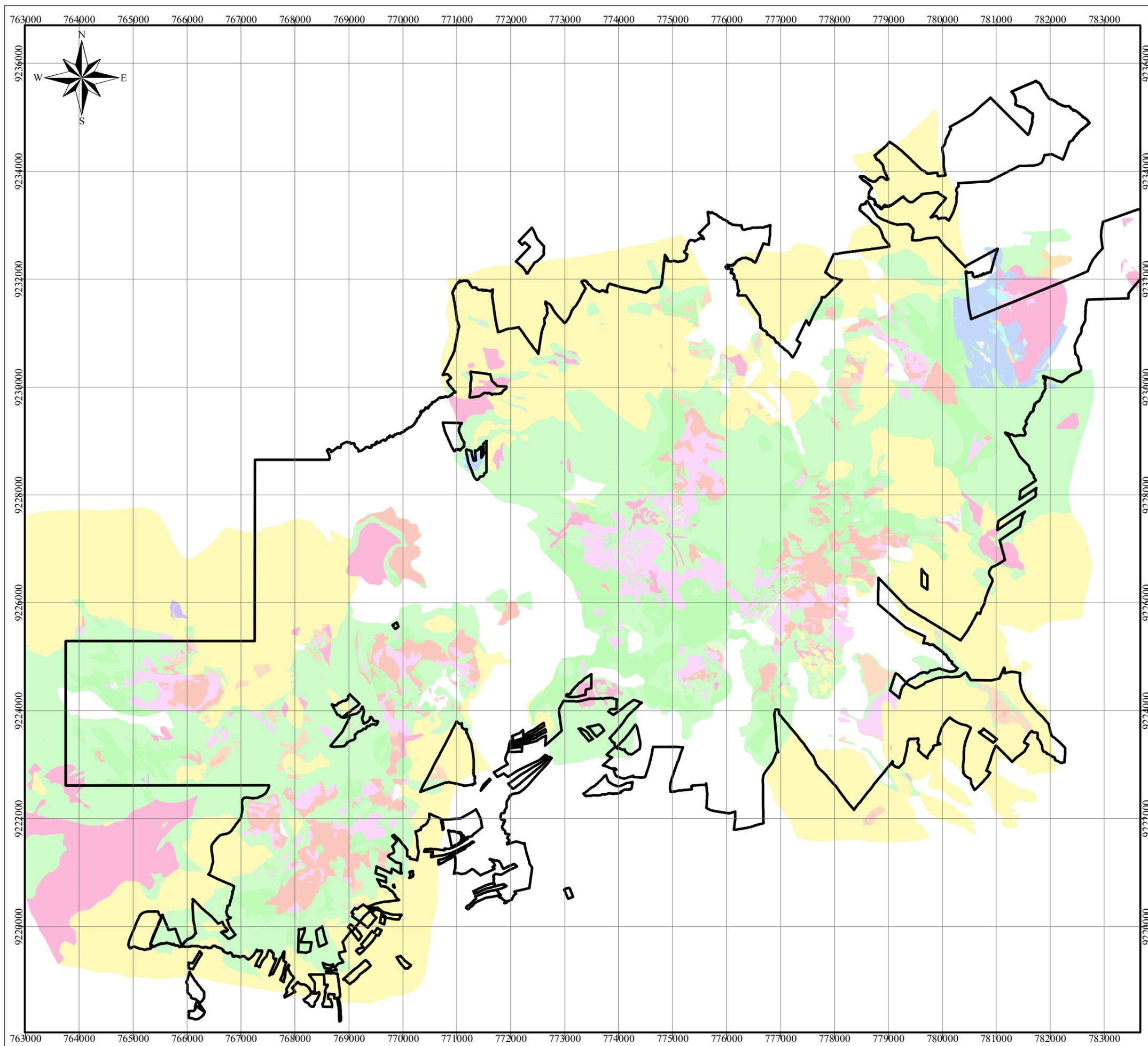
Mapa de Litología Local

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

2019

Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera

Mapa 2-1



UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

- Alunite Silica
- Clay
- Clay Silica
- Fresh Rock
- Granular Silica
- Marble
- Massive Silica
- Opalite Silica
- Propylitic
- Sericite
- Skarn
- Vuggy Silica

LEYENDA

- Límite de Yanacocha

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

Escala: 1:70,000



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACocha

Mapa de Alteraciones Hidrotermales

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L. 2019

Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera Mapa 2-2

ANEXO 3

PANEL FOTOGRÁFICO - PERFILES DE SUELO DE YANACOCHA

ENTISOLS

CALICATA SU-06	
Zona de Vida	Paramo pluvial Subalpino Tropical
Origen de Suelos	Residual
Fisiografía	Colinas de rocas sedimentarias
Clasificación Taxonómica FAO	Regosol haplico
Clasificación Taxonómica USDA	Typic Cryorthents
Vegetación predominante	Afloramiento rocoso -Pajonal
Características morfológicas	Sus características edáficas están expresadas en un perfil A-C1-C2-, con epipedón ócrico y sin horizonte de diagnóstico. La textura del suelo es franco arenosa en todo el perfil; su color es pardo oscuro (10YR 3/3) a pardo amarillento claro (10YR 6/4) y su estructura es granular, de tamaño fina, débil a sin estructura (masiva); los fragmentos gruesos son muy abundantes (> 70%), del tamaño de grava gruesa (2 - 6 cm) y de forma subangular - esferoidal; las raíces son de aspecto normal, de tamaño mediana y son frecuentes. De acuerdo a la textura del suelo presenta una permeabilidad moderadamente rápida.
Características químicas	Sus características químicas están dadas por una reacción muy fuertemente ácida (pH 4,64) en superficie a muy fuertemente ácida (pH 5,03) en profundidad; la presencia de carbonatos es nulo (0% CaCO ₃); la capacidad de intercambio catiónico es muy alta (44,32 meq/100 g de suelo); la saturación de bases es 3% y es clasificado como muy baja. El contenido de la materia orgánica es alto (11,06%), fósforo disponible es bajo (2,8 ppm) y potasio disponible es medio (168 ppm), lo cual determina que la fertilidad natural de la capa arable sea baja.
Fase por Pendiente	D – E
Capacidad de uso mayor (CUM)	P3sec



Figura 3-17: Typic Cryorthents

CALICATA MY-08	
Ubicación	Cantera Soil Liner Zona Norte 3
Soil Taxonomy	Orden: Entisols; Sub Orden: Orthents; Gran Grupo: Udorthents; Sub Grupo: Lithic Udorthents
Clasificación FAO	Leptosoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, con limitaciones por suelo, erosión y clima. Xsec
Fisiografía	Colina moderada
Micro relieve	Ondulado
Vegetación	Pastos naturales en mal estado, predomina el ichu
Altitud	4 045 msnm
Coordenadas UTM	778 489 mE y 9' 230 005 mN
Material Parental	Brechas y rocas volcánicas
Textura	Moderadamente fina
Drenaje natural	Excesivo
Reacción del suelo	Moderadamente ácido
Pendiente	Empinada (26%)
Profundidad efectiva	Superficiales
Fragmentos rocosos	Gravosos
Pedreg. Superficial	Pedregosos (10%)
Erosión Hídrica	Severa
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrígido
Zona de vida	Páramo pluvial Sub Alpino Tropical (pp-SAT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 20 cm.	Horizonte de color negro (10YR 2/1) en húmedo; textura franco arcillo arenoso; de estructura granular, media, grado fuerte; consistencia friable en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; reacción moderadamente ácido (pH 5.73); nivel medio de materia orgánica (MO: 3.02%); nivel medio de nitrógeno total (N: 0.15%); medios en fósforo disponible (P: 10.45 ppm); altos en potasio disponible (K: 156.08 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 16.23 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases alta (SB: 54.49%); sin problemas de toxicidad por aluminio (Al: 0.36 me/100g); muy ligeramente afectados por sales y sodio (CE: 0.33 dS/m); horizonte con desarrollo moderado de raíces finas; buena actividad biológica; abundantes (aproximadamente 20%) fragmentos tamaño grava y gravilla de material volcánico; claro suave.

R 20 – 70 cm. a más	Brecha freática y material de origen volcánico, posiblemente correspondiente a la Ignimbrita Maqui Maqui. La roca es dura aunque en superficie se encuentra fisurada y ligeramente meteorizada por procesos de edafización. Sin raíces y sin actividad biológica visible.
---------------------	---



Figura 3-18: Lithic Udorthents

CALICATA MY-20	
Ubicación	Al este ampliación Tajo Chaquicocha
Soil Taxonomy	Orden: Entisols; Sub Orden: Orthents; Gran Grupo: Udorthents; Sub Grupo: Typic Udorthents
Clasificación FAO	Regosoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, limitaciones por suelo, erosión y clima. Xsec
Fisiografía	Colina alta
Micro relieve	Microaccidentado.
Vegetación	Pastos naturales en mal estado, predominando el ichu.
Altitud	4 008 msnm
Coordenadas UTM	778 823 mE y 9 226 201 mN
Material Parental	Depósito de material detrítico grueso derivado de volcánicos
Textura	Moderadamente fina
Drenaje natural	Bueno
Reacción del suelo	Muy fuertemente ácido
Pendiente	Empinada (31%)
Profundidad efectiva	Muy superficiales
Fragmentos rocosos	Muy gravosos en el perfil
Pedreg. Superficial	Muy pedregosos (20%)
Erosión Hídrica	Severa
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrío
Zona de vida	Páramo pluvial Sub Alpino Tropical (pp-SAT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 12/15 cm.	<p>Horizonte de color negro (10YR 2/1) en húmedo; textura franco arcillo arenoso; de estructura granular medios, grado moderado; consistencia friable en húmedo y no adhesivo en mojado; reacción muy fuertemente ácido (pH 4.62); nivel alto de materia orgánica (MO: 8.71%); alto en nitrógeno total (N: 0.43%); bajos en fósforo disponible (P: 6.11 ppm); alto en potasio disponible (K: 157.37 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 26.37 me/100g); sin presencia de calcáreo total (CaCO₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 32.91%); con problemas de toxicidad por aluminio (Al: 3.72 me/100g); muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.07 dS/m), la razón de absorción de sodio (RAS) es baja por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes; horizonte con desarrollo moderado de raíces; actividad biológica moderada; gravas y gravillas de naturaleza volcánica en más o menos 12%; límite difuso suave.</p>

BC 12/15 – 42/47 cm.	Horizonte transicional entre B y C, con textura franco arcillo arenoso; reacción muy extremadamente ácido (pH 4.41); nivel alto de materia orgánica (MO: 5.33%); alto en nitrógeno total (N: 0.26%); bajos en fósforo disponible (P: 5.92 ppm); alto en potasio disponible (K: 127.68 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 19.30 me/100g); sin presencia de calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 28.83%); con problemas de toxicidad por aluminio (Al: 4.62 me/100g); muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.09 dS/m), la razón de absorción de sodio (RAS) es baja por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes; con abundantes gravas y gravillas de naturaleza volcánica en más o menos 50 y 60 %; escasas raicillas llegan a los 33 cm, no se observa actividad biológica.
C 42/47 – 85 cm. a más	Horizonte constituido por bloques, gravas y gravillas de naturaleza volcánica que conforman un depósito morrénico. Sin raíces y sin actividad biológica.



Figura 3-19: Typic Udorthents

CALICATA MY-03	
Ubicación	Humedal Alto Andino de Pampa Larga
Soil Taxonomy	Orden: Entisols; Sub Orden: Aquepts; Gran Grupo: Endoaquepts; Sub Grupo: Humaqueptic Endoaquepts
Clasificación FAO	Gleisoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, con limitaciones por suelo, drenaje y clima. Xswc
Fisiografía	Terraza
Micro relieve	Ondulado suave
Vegetación	Pastos naturales predominando el ichu
Altitud	4 032 msnm
Coordenadas UTM	776 978 mE y 9 230 311 mN
Material Parental	Depósito de material detrítico fino de origen fluvio-glaciar
Textura	Moderadamente fina
Drenaje natural	Pobre
Reacción del suelo	Extremadamente ácido
Pendiente	Ligeramente inclinada (5%)
Profundidad efectiva	Muy superficiales
Fragmentos rocosos	Libre a ligeramente gravosos
Pedreg. Superficial	Moderadamente pedregosos (1%)
Erosión Hídrica	Nula
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrío
Zona de vida	Páramo pluvial Sub Alpino Tropical (pp-SAT)
Fertilidad del Suelo	Baja
Ah 00 – 11 cm.	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura franco arcillo arenoso; de estructura bloques subangulares, finos, grado débil; consistencia muy friable en húmedo y adhesivo en mojado; reacción extremadamente ácido (pH 4.40); nivel medio de materia orgánica (MO: 2.82%); nivel medio de nitrógeno total (N: 0.14%); medios en fósforo disponible (P: 7.65 ppm); alto en potasio disponible (K: 126.20 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 19.33 me/100g); sin presencia de calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 28.64%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 4.66 me/100g); muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.45 dS/m), la razón de absorción de sodio (RAS) es baja por lo tanto no afecta la disponibilidad de nutrientes; horizonte con buen desarrollo de raíces finas; actividad biológica moderada; sin fragmentos gruesos; límite difuso suave.

Btg 11 – 45 cm.	Horizonte de color negro (10YR 2/1) en húmedo; textura franco arcillo arenoso; de estructura bloques subangulares, medios y finos; consistencia muy friable en húmedo y adhesivo en mojado; escasas raicillas llegan hasta los 18 cm. actividad biológica pobre y sin fragmentos gruesos; limite abrupto suave.
45 cm. a más.	Napa freática a partir de los 45 cm. de profundidad.



Figura 3-20: Humaqueptic Endoaquents

ANDISOLS

CALICATA SYO-10	
Ubicación	Margen izquierda de la quebrada la Pajuela
Soil Taxonomy	Orden: Andisols; Sub Orden: Udands; Gran Grupo: Hapludands; Sub Grupo: Typic Hapludands
Clasificación FAO	Andosoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, con limitaciones por suelo, erosión y clima. Xsec
Fisiografía	Colina alta
Micro relieve	Ondulado
Vegetación	Pastos naturales en mal estado de desarrollo, predominando el ichu
Altitud	3 552 msnm
Coordenadas UTM	770352 m E y 9227034 m N
Material Parental	Depósitos de material detrítico grueso de naturaleza volcánico
Textura	Moderadamente gruesa
Drenaje natural	Bueno
Reacción del suelo	Extremadamente ácido
Pendiente	Empinada (32%)
Profundidad efectiva	Superficiales
Fragmentos rocosos	Gravosos y pedregosos en el perfil
Pedreg. Superficial	Pedregosos (15%)
Erosión Hídrica	Severa
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrío
Zona de vida	Páramo pluvial Subalpino Tropical (pp-SaT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 16/20 cm.	Horizonte de color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco, color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura franco arenoso; de estructura bloques subangulares, media, grado moderado; consistencia ligeramente duro en seco, friable en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; reacción extremadamente ácido (pH 4.41); nivel alto de materia orgánica (MO: 6.25%); nivel alto de nitrógeno total (N: 0.30%); bajos en fósforo disponible (P: 5.25 ppm); medios en potasio disponible (K: 132.23 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 20.88 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 28.83%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 4.65 me/100g); muy ligeramente

	afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.03 dS/m); horizonte con buen desarrollo de raíces finas y escasas medias; actividad biológica moderada; presencia de gravillas de naturaleza volcánica en más o menos 7%; límite gradual ondulado.
BC 16/20 – 32 cm.	Horizonte de textura franco arcillo arenoso; reacción muy fuertemente ácido (pH 4.51); nivel medio de materia orgánica (MO: 2.68%); nivel medio de nitrógeno total (N: 0.13%); bajos en fósforo disponible (P: 5.29 ppm); medios en potasio disponible (K: 122.07 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 16.52 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 30.77%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 4.21 me/100g); muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.02 dS/m); horizonte transicional entre B y C, con características de ambos, pero sin dominancia de ninguno de ellos, con desarrollo moderado de raíces finas que llegan hasta los 33 cm. escasa actividad biológica, alto porcentaje de gravas y gravillas y algunas piedras de naturaleza volcánica en más o menos 60%.
C 32 - 80 cm. a más.	Horizonte constituido por material volcánico soplítico y en proceso de edafización avanzada, sin raíces y sin actividad biológica visible.



Figura 3-21: Typic Hapludands

CALICATA SYO-12	
Ubicación	Al suroeste de la pila de lixiviación Yanacocha
Soil Taxonomy	Orden: Andisols; Sub Orden: Udands; Gran Grupo: Hapludands; Sub Grupo: Lithic Hapludands
Clasificación FAO	Andosoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, con limitaciones por suelo, erosión y clima. Xsec
Fisiografía	Colina moderada
Micro relieve	Microaccidentado
Vegetación	Pastos naturales en mal estado
Altitud	3 876 msnm
Coordenadas UTM	772548 m E y 9' 228 158 mN
Material Parental	Rocas volcánicas insitu, ligeramente fisuradas
Textura	Moderadamente gruesa
Drenaje natural	Bueno
Reacción del suelo	Muy fuertemente ácido
Pendiente	Empinada (26%)
Profundidad efectiva	Muy superficiales
Fragmentos rocosos	Ligeramente gravosos
Pedreg. Superficial	Pedregosos (10%)
Erosión Hídrica	Severa
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrío
Zona de vida	Páramo pluvial Subalpino Tropical (pp-SaT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 10/24 cm.	Horizonte de color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco, color negro (10YR 2/1) en húmedo; textura franco arenoso; de estructura granular, medios, grado moderado; consistencia ligeramente en seco, firme en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; reacción muy fuertemente ácido (pH 4.60); nivel alto de materia orgánica (MO: 14.39%); nivel alto de nitrógeno total (N: 0.69%); medios en fósforo disponible (P: 7.54 ppm); medios en potasio disponible (K: 176.56 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 32.29 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 32.52%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 3.83 me/100g); muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio (CE: 0.29 dS/m); horizonte con desarrollo moderado de raíces finas y escasas medias; actividad biológica moderada; escasas gravillas de naturaleza volcánica en más o menos 4%; límite abrupto irregular.

R 10/24 – 40 cm.	Roca volcánica bastante fisurada y ligeramente meteorizada en la superficie, sin raíces y sin actividad biológica visible.
------------------	--



Figura 3-22: Lithic Hapludands

INCEPTISOLS

CALICATA 2	
Soil Taxonomy	Orden: Inceptisols; Sub Orden: Ustepts; Gran Grupo: Dystrustepts; Sub Grupo: Lithic Dystrustepts.
Nombre del suelo	Capa Rosa
Paisaje	Ladera.
Micro relieve	Ondulado.
Vegetación	Pastos naturales.
Altitud	3 696 msnm
Coordenadas UTM	766 401 m Este y 9 225 326 m Norte
Material Parental	Residual
Textura	Suelo orgánico
Drenaje natural	Bueno
Reacción del suelo	Muy fuertemente ácido
Pendiente	Moderadamente empinada (20%)
Profundidad efectiva	Superficiales
Pedreg. Superficial	Libre de piedras (0%)
Salinidad y/o Sodicidad	Libre a muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Zona de vida	Bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 27 cm.	Orgánico; pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2) en húmedo; granular muy fino, débil; muy friable; 20% de gravillas; reacción muy fuertemente ácida (pH: 4,77); nivel alto de materia orgánica (16,93%); raíces finas, abundantes; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte abrupto al
R 27 cm a más	Roca dura y coherente



Figura 3-23: Lithic Dystrustepts

CALICATA 1	
Soil Taxonomy	Orden: Inceptisols; Sub Orden: Ustepts; Gran Grupo: Dystrustepts; Sub Grupo: Andic Dystrustepts.
Nombre del suelo	Cerro Negro
Paisaje	Ladera.
Micro relieve	Ondulado suave.
Vegetación	Plantación de coníferas.
Altitud	3 488 msnm
Coordenadas UTM	764 947 m Este y 9 225 340 m Norte
Material Parental	Residual y coluvial
Textura	Franco arenoso
Drenaje natural	Bueno
Reacción del suelo	Extremadamente ácido
Pendiente	Nula (0%)
Profundidad efectiva	Moderadamente profundos
Pedreg. Superficial	Libre de piedras (0%)
Salinidad y/o Sodicidad	Libre a muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Zona de vida	Bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 19 cm.	Textura Franco arenoso; pardo pálido (10YR 5/3) en húmedo, granular fino, débil; friable; 50% de gravillas y gravas; reacción extremadamente ácida (pH: 3,95); nivel alto de materia orgánica (6,14%), raíces finas y medias, abundantes; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte abrupto al
A2 19 – 40 cm.	Franco arenoso; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, granular muy fino, débil; muy friable; reacción extremadamente ácida (pH: 4,17); nivel alto de materia orgánica (6,69%), raíces finas, pocas; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte claro al
Bw 40 – 67cm.	Franco; pardo (10YR 4/3) en húmedo: bloques subangulares finos, débiles; friables; 50% de gravillas; reacción extremadamente ácida (pH: 4,11); nivel medio de materia orgánica (3,28%), raíces finas, pocas; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte abrupto al
C 67 – 123	Franco; amarillo parduzco (10YR 6/8) en húmedo: grano simple; suelto; 50% de gravillas y gravas; reacción extremadamente ácida (pH: 4,18); nivel bajo de materia orgánica (0,61%); permeabilidad moderadamente rápida.



Figura 3-24: Andic Dystrustepts

CALICATA SYO-01	
Ubicación	Al este del tajo relleno La Quinua
Soil Taxonomy	Orden: Inceptisols; Sub Orden: Udepts; Gran Grupo: Dystrudepts; Sub Grupo: Humic Dystrudepts
Clasificación FAO	Umbrisoles
Clasific. por Uso Mayor	Tierras de protección, con limitaciones por suelo, erosión y clima. Xsec.
Fisiografía	Colina alta.
Micro relieve	Microaccidentado
Vegetación	Pastos naturales, en mal estado de desarrollo.
Altitud	3,927 msnm
Coordenadas UTM	773478 m E y 9225 872 m N
Material Parental	Areniscas cuarcíticas y materiales volcánicos.
Textura	Moderadamente gruesa
Drenaje natural	Excesivo
Reacción del suelo	Extremadamente ácido
Pendiente	Empinada (43%)
Profundidad efectiva	Muy superficiales
Fragmentos rocosos	Muy gravosos en el perfil
Pedreg. Superficial	Muy pedregosos (25%)
Erosión Hídrica	Severa
Salinidad y/o Sodicidad	Muy ligeramente afectados de excesos de sales y sodio
Riesgo de anegamiento	Sin riesgo o peligro de inundación
Clima	Húmedo semifrío
Zona de vida	Páramo pluvial Subalpino Tropical (pp-SaT)
Fertilidad del Suelo	Baja
A1 00 – 18 cm.	Horizonte de color negro (10YR 2/1) en húmedo; textura franco arenoso; de estructura granular, medios, grado fuerte; consistencia friable en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; reacción extremadamente ácido (pH 3.86); nivel alto de materia orgánica (MO: 13.32%); nivel alto de nitrógeno total (N: 0.63%); bajos en fósforo disponible (P: 5.20 ppm); medios en potasio disponible (K: 130.96 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 30.28 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases

	baja (SB: 18.14%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 7.41 me/100g); muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.11 dS/m); horizonte con desarrollo moderado de raíces finas y escasas actividad biológica; algunas gravillas de areniscas en más o menos 4%; límite gradual suave.
C1 18 – 32/40 cm.	Horizonte de textura franco arcillo arenoso; con reacción ultra ácido (pH 3.50); nivel alto de materia orgánica (MO: 6.48%); nivel alto de nitrógeno total (N: 0.31%); bajos en fósforo disponible (P: 5.17 ppm); medios en potasio disponible (K: 123.41 ppm); nivel alto en capacidad de intercambio catiónico (CCC: 22.42 me/100g); sin calcáreo total (CaCO ₃ : 0.00%); saturación de bases baja (SB: 22.42%); presenta problemas de toxicidad por aluminio (Al: 6.23 me/100g); muy ligeramente afectados de exceso de sales y sodio (CE: 0.07 dS/m); constituido por gravas y gravillas más escaso suelo negro, con escasas raíces que llegan hasta los 27 cm. de profundidad, no se observa actividad biológica.
C2 32/ 40 – 80 cm.	Horizonte C de color amarillo, constituido por gravas y gravillas de areniscas más arenas amarillas, sin raíces y sin actividad biológica visible.



Figura 3-25: Humic Dystrudepts

CALICATA SU-03	
Zona de Vida	Paramo pluvial Subalpino Tropical
Origen de Suelos	Residual
Fisiografía	Colina de rocas volcánicas
Clasificación Taxonómica FAO	Umbrisols haplico
Clasificación Taxonómica USDA	Typic Humicryepts
Vegetación predominante	Pajonal
Características morfológicas	Sus características edáficas están expresadas en un perfil Oe-Oe-OA- C, con epipedón úmbrico y sin horizonte de diagnóstico. La textura del suelo es orgánico a franco arenosa; su color es pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) a pardo amarillento (10YR 5/4) y su estructura es granular, de tamaño fina, débil a granular; los fragmentos groseros son abundantes (36 - 70%) y son del tamaño de grava media (0,6 - 2 cm) y de forma subangular - esferoidal; las raíces son de aspecto normal y son frecuentes. De acuerdo a la textura del suelo presenta una permeabilidad lenta.
Características químicas	Sus características químicas están dadas por una reacción muy fuertemente ácida (pH 4,77) en superficie a moderadamente ácida (5,67) en profundidad; la presencia de carbonatos es nulo (0% CaCO ₃); la capacidad de intercambio catiónico es muy alta (67,52 meq/100 g de suelo). La saturación de bases es 6% y es clasificada como muy baja. El contenido de la materia orgánica es alto (36,6%), fósforo disponible es alto (36,2 ppm) y potasio disponible es alto (357 ppm), lo cual determina que la fertilidad natural de la capa arable sea alta.
Fase por Pendiente	D - E
Capacidad de uso mayor (CUM)	P3sec



Figura 3-26: Typic Humicryepts

CALICATA SU-05	
Zona de Vida	Paramo pluvial Subalpino Tropical
Origen de Suelos	Residual
Fisiografía	Colinas de rocas sedimentarias
Clasificación Taxonómica FAO	<i>Leptosol umbrico</i>
Clasificación Taxonómica USDA	<i>Lithic Humicryepts</i>
Vegetación predominante	Afloramiento rocoso -Pajonal
Características morfológicas	Sus características edáficas están expresadas en un perfil A-AC-R, con epipedón úmbrico y sin horizonte de diagnóstico. La textura del suelo es franco arenosa a franca; su color es negro (10YR 2/1) a pardo muy oscuro (10YR 2/2) y su estructura es granular, de tamaño fina, débil a granular; las raíces son de aspecto normal, de tamaño mediana, son frecuentes y son muy pocas. De acuerdo a la textura del suelo presenta una permeabilidad moderadamente rápida.
Características químicas ^a	Sus características químicas están dadas por una reacción muy fuertemente ácida (pH 4,98) en superficie a fuertemente ácida (pH 5,51) en profundidad; la presencia de carbonatos es nulo (0% CaCO ₃); la capacidad de intercambio catiónico es muy alta (40,48 meq/100 g de suelo); la saturación de bases es 8% y es clasificado como muy baja. El contenido de la materia orgánica es alto (13,34%), fósforo disponible es bajo (5,9 ppm) y potasio disponible es bajo (88 ppm), lo cual determina que la fertilidad natural de la capa arable sea baja.
Fase por Pendiente	C –D
Capacidad de uso mayor (CUM)	Xse



Figura 3-27: Lithic Humicryepts

HISTOSOLS

CALICATA SU-02	
Zona de Vida	Paramo pluvial Subalpino Tropical
Origen de Suelos	Orgánicos
Fisiografía	Planicie hidromórfico
Clasificación Taxonómica FAO	Histosols fíbrico
Clasificación Taxonómica USDA	Hydric Cryofibrils
Vegetación predominante	Bofedal - Césped de puna
Características morfológicas	Sus características edáficas están expresadas en un perfil Oi-Oi-Oi-, con epipedón hístico y sin horizonte de diagnóstico. La textura del suelo es orgánico en todo el perfil del suelo; su color es pardo oscuro (10YR 3/3) a negro (10YR 2/1) y su estructura es fibrosa por la presencia de raíces; las raíces son de aspecto normal, de tamaño gruesa y son muy pocas. De acuerdo a la textura del suelo presenta una permeabilidad lenta.
Características químicas	Sus características químicas están dadas por una reacción moderadamente ácida (pH 5,67) en superficie a fuertemente ácida (5,54) en profundidad; la presencia de carbonatos es nulo (0% CaCO ₃); la capacidad de intercambio catiónico es muy alta (84,8 meq/100 g de suelo); en el análisis de los cationes. La saturación de bases es 40% y es clasificada como baja. El contenido de la materia orgánica es alto (63,36%), fósforo disponible es bajo (1,9 ppm) y potasio disponible es bajo (88 ppm), lo cual determina que la fertilidad natural de la capa arable sea baja.
Fase por Pendiente	A
Capacidad de uso mayor (CUM)	P3swc



Figura 3-28: Hydric Cryofibrils

ANEXO 4
BASE DE DATOS

Tabla 4-7: Concentraciones de As total en Topsoil

ID	Coordenadas UTM WGS 84		As total en Topsoil (mg/kg)	ID	Coordenadas UTM WGS 84		As total en Topsoil (mg/kg)
	Este	Norte			Este	Norte	
1	768113	9224513	3.5	41	769153	9227150	195.4
2	767351	9224232	63.99	42	769454	9224342	13.6
3	767424	9224227	31.6	43	769872	9227817	31.3
4	768556	9222156	87.73	44	769902	9226753	77.7
5	768133	9222880	10	45	770009	9226702	54.8
6	769197	9222021	17.6	46	770114	9226693	56.4
7	765294	9220104	17.33	47	770071	9227007	135.7
8	767105	9224693	11.9	48	770344	9226750	169.8
9	767781	9223452	45.5	49	770229	9224757	45.4
10	767211	9223096	45.5	50	770962	9226873	119.8
11	767284	9226351	2.2	51	770877	9227911	93
12	767802	9226574	19.3	52	770902	9227957	36.9
13	768149	9227138	2	53	770939	9228035	69.8
14	765448	9221978	58	54	771204	9227336	64.4
15	766548	9222822	557.3	55	771777	9228449	131.2
16	768949	9227760	13.9	56	771090	9224168	78.6
17	769499	9228154	115.3	57	772596	9224526	127.6
18	769489	9228120	21.5	58	771984	9220864	2.2
19	770659	9227105	65.88	59	768807	9224368	29.1
20	772391	9224652	<0.4	60	770163	9224964	65.2
21	772494	9223948	214	61	769483	9227751	16.3
22	770521	9225674	<0.4	62	769143	9227399	153.5
23	768500	9226978	<0.4	63	769667	9227498	25.7
24	769347	9227647	<0.4	64	770002	9227129	60.5
25	768674	9228078	<0.4	65	772956	9229891	<0.4
26	770934	9227478	166.5	66	775376	9228391	836
27	770352	9227034	<0.4	67	773671	9229993	254.1
28	770130	9228165	<0.4	68	773677	9229970	144.1
29	772548	9228158	<0.4	69	773671	9229972	243
30	772217	9229374	<0.4	70	775622	9230755	118
31	771641	9229263	410	71	774227	9225121	70
32	771893	9229635	300	72	774479	9225493	91
33	771869	9229622	34.85	73	772101	9229288	21.5
34	771888	9229596	200.8	74	772258	9229052	12.3
35	767757	9231375	100	75	772834	9230159	20.6
36	770911	9227477	45	76	774234	9230585	5.2
37	768304	9227533	20.3	77	772340	9229279	36.8
38	769011	9227323	38.9	78	772943	9229626	5.4
39	768887	9227172	72.6	79	774222	9230179	48.2
40	768954	9227133	39.2	80	776337	9230667	433

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-1: Concentraciones de As total en Topsoil (continuación)

ID	Coordenadas UTM WGS 84		As total en Topsoil (mg/kg)	ID	Coordenadas UTM WGS 84		As total en Topsoil (mg/kg)
	Este	Norte			Este	Norte	
81	776978	9230311	49.9	121	778273	9228772	5.8
82	777444	9230400	<0.01	122	778614	9227563	25.4
83	777956	9229822	<0.01	123	779044	9227329	14.2
84	776400	9224623	<0.01	124	778508	9226063	77.7
85	776644	9224622	<0.01	125	778793	9225449	155.2
86	778378	9225244	178.4	126	776314	9224828	70.91
87	777644	9224867	58	127	776484	9225032	61.99
88	778668	9227200	35.2	128	777376	9229381	29.91
89	778823	9226201	36	129	779292	9226863	11.29
90	775511	9225733	<0.01	130	778734	9225418	130.8
91	775312	9226356	41.4	131	778521	9225859	25.4
92	774678	9222244	35	132	778939	9225630	3.5
93	774426	9221872	4	133	778489	9231201	<0.01
94	775336	9223754	21.89	134	779066	9229429	<0.01
95	775863	9224257	46	135	778489	9230005	<0.01
96	775981	9224358	35.87	136	778199	9231511	<0.01
97	775971	9224313	33.04	137	780402	9230665	<0.01
98	775995	9224501	49.43	138	780497	9229403	<0.01
99	776009	9224562	52	139	780267	9227689	<0.01
100	776475	9225234	398.1	140	779644	9227201	<0.01
101	776498	9225171	202	141	779622	9228088	<0.01
102	776925	9225632	78	142	778353	9229351	57.48
103	777046	9225922	154	143	777073	9230162	31.17
104	776695	9224364	39	144	779127	9230413	32
105	776749	9224325	100	145	779140	9230393	100
106	777592	9223986	8.02	146	778579	9230960	100
107	777876	9224227	36.9	147	778611	9230956	184.8
108	777841	9224370	100	148	778103	9231057	154.23
109	777844	9224258	35	149	778134	9231210	154.23
110	777821	9224301	39	150	778149	9231268	109
111	775347	9230327	807.3	151	778355	9231429	123
112	776114	9230018	17.8	152	778719	9231317	28.52
113	776566	9229319	25.7	153	778863	9231328	24
114	774985	9225394	103.9	154	778886	9231330	32.64
115	776092	9223953	44.8	155	778914	9231299	43
116	776024	9224069	68.7	156	779003	9231366	54.83
117	776255	9224633	26.5	157	778982	9231336	66
118	775561	9226059	127.6	158	778970	9231418	56
119	777449	9229449	37.6	159	778971	9231689	49
120	777879	9229006	15	160	779198	9232061	11.36

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-1: Concentraciones de As total en Topsoil (continuación)

ID	Coordenadas UTM WGS 84		As total en Topsoil (mg/kg)
	Este	Norte	
161	779296	9231982	34.6
162	779278	9231989	feb-50
163	778400	9230950	73.5
164	778543	9230980	37.5
165	778757	9230213	64.3
166	778758	9230218	21.6
167	779925	9231476	22.8
168	779797	9231032	60.5
169	779732	9228620	22.1
170	779885	9227514	16.2
171	777991	9229418	19.16
172	778545	9229795	42.82
173	778632	9229480	22.41
174	779166	9229149	18.47
175	778984	9230787	33.83
176	779742	9227917	16.9
177	779148	9228285	35
178	780047	9228175	7.8
179	780244	9234007	213.8
180	779266	9233531	2
181	779437	9233434	5
182	780283	9233774	5
183	778748	9233622	5.5
184	781128	9235064	28.9
185	764851	9229680	500

FUENTE: Yanacocha

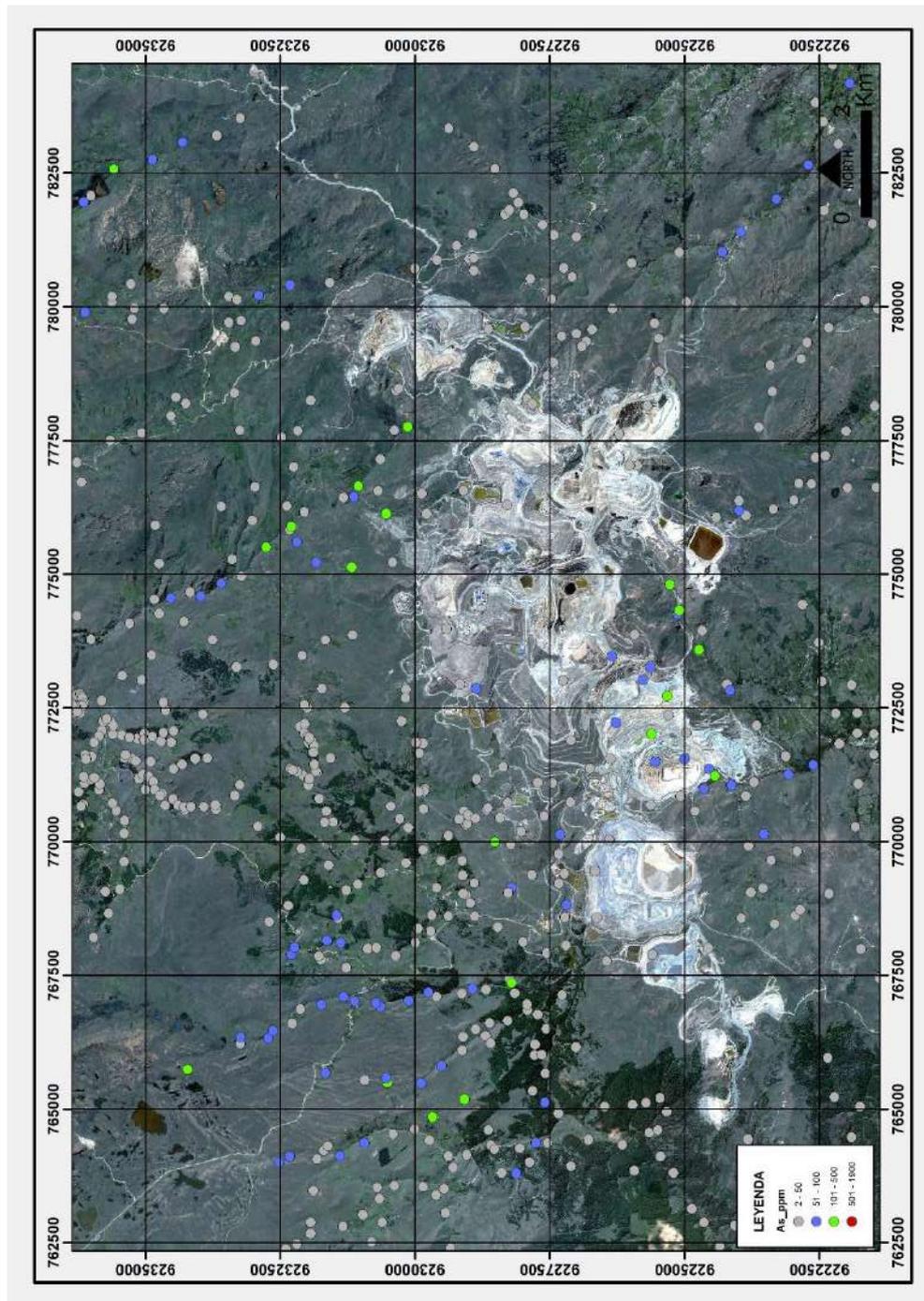


Figura 4-29 Resultados de cateos exploratorios en suelo

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-8: Concentraciones georeferenciadas de Al y Fe total en Topsoil

ID	Código	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Coordenadas UTM WGS 84	
				Este	Norte
1	SYO-01	29773	24236	773478	9225782
2	SYO-02	14433	21706	773521	9225043
3	SYO-03	29875	26794	772391	9224652
4	SYO-04	20904	16407	772494	9223948
5	SYO-05	36568	26928	770521	9225674
6	SYO-06	79593	26793	768500	9226978
7	SYO-07	61852	34359	769347	9227647
8	SYO-08	54677	21511	768674	9228078
9	SYO-09	22896	22561	770934	9227478
10	SYO-10	11328	19578	770352	9227034
11	SYO-11	41648	21434	770130	9228165
12	SYO-12	32972	27102	772548	9228158
13	SYO-13	39591	22871	772217	9229374
14	SYO-14	32449	14305	772956	9229891
15	SYO-15	21795	40691	775376	9228391
16	MY-01	22308	46259	775622	9230755
17	MY-02	16937	40851	776337	9230667
18	MY-03	21230	26358	776978	9230311
19	MY-04	17081	8804	777444	9230400
20	MY-05	6506	9775	777956	9229822
21	MY-06	19052	18542	778489	9231201
22	MY-07	7590	13455	779066	9229429
23	MY-08	11998	21158	778489	9230005
24	MY-09	9790	16937	778199	9231511
25	MY-10	9619	24352	780402	9230665
26	MY-11	18890	29609	780497	9229403
27	MY-12	26626	26073	780267	9227689
28	MY-13	21476	15673	779644	9227201
29	MY-14	29901	23040	779622	9228088
30	MY-15	28448	26250	776400	9224623
31	MY-16	10942	33571	776644	9224622
32	MY-17	13067	22826	778378	9225244
33	MY-18	17155	23491	777644	9224867
34	MY-19	13380	22631	778668	9227200
35	MY-20	12675	22585	778823	9226201
36	MY-21	4497	9072	775511	9225733
37	MY-22	11880	28191	775312	9226356
38	MFY-155	23700	32019.8	769143	9227399
39	MFY-156	21402	20042.4	769143	9227399
40	MFY-157	23035	18098.8	769667	9227498
41	MFY-158	4584	15191.8	778734	9225418
42	MFY-159	2808	6917.5	778521	9225859

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-2: Concentraciones georeferenciadas de Al y Fe total en Topsoil (Continuación)

ID	Código	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Coordenadas UTM WGS 84	
				Este	Norte
43	MFY-160	2685	1958.0	778939	9225630
44	MFY-751	21959	18951.7	770002	9227129
45	YAPZ1	14764	25416	773401	9229510
46	YADDZ1	16653	20122	771315	9227474
47	LQarUn	39484	19220	768949	9227760
48	LQarN	22161	22174	772600	9227767
49	LQDDZ1	19361	21925	771315	9227474
50	LQDPZ1	22104	19923	773447	9228269
51	YAAN1	29362	22548	771641	9229263
52	MMDDZ3	12394	27218	778833	9230013
53	MMarHR	12084	32602	779702	9230805
54	MQTNZ1	8275	28771	778611	9230956
55	CNHRZ1	21264	18118	767424	9224227
56	CNANC1	46430	36134	768133	9222880
57	RGco	30961	28764	769197	9222021
58	MMANC1	11594	34064	779296	9231982
59	SJANC1	17229	19782	777876	9224227
60	SJDRZ2	17093	22597	776647	9225328
61	SJDSZ3	23825	28698	775610	9223911
62	CCACCZ1	31299	15366	775897	9226196
63	MQTNZ2	6947.9	-	778730	9230964
64	MQTNZ1	4830.8	-	778611	9230956
65	MQDDZ3	6784	-	778875	9230041
66	MQDDZ2	8166.3	-	779112	9230041
67	YADDZ1	8228	-	773485	9228307
68	LQDPZ1	8525.4	-	770659	9227105
69	LQDDZ1	9940.9	-	771344	9227408
70	MQAN1	13487.6	-	778103	9231057
71	CNHRZ1	7379.5	-	767351	9224232
72	MMANC1	10437.3	-	778719	9231317
73	MQDDZ4	6472.9	-	778353	9229351
74	YAAN1	14040.7	-	771641	9229263
75	SJDRZ2	9023.1	-	776673	9225260
76	CACCZ1	8006.9	-	775994	9226272
77	YAPZ1	7225.3	-	773419	9229600
78	SJANC1	20699.8	-	777592	9223986
79	SJDSZ3	12504.9	-	775611	9223885
80	SJDRZ1	8283.4	-	775336	9223754
81	GRAN1	5992.9	-	774227	9225121
82	SJDRZ3	81.95	-	776142	9225111
83	CNANC1	6325.8	-	768556	9222156

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-2: Concentraciones georeferenciadas de Al y Fe total en Topsoil (Continuación)

ID	Código	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Coordenadas UTM WGS 84	
				Este	Norte
84	SJAN1s	22304	-	774426	9221872
85	MQAN 1 – M1	12676.2	14311.1	777863	9230895
86	MQAN 1 – M2	12118.2	24324.1	777893	9230912
87	MMANC1–M1	20959.4	14762.8	779053	9231587
88	MMANC1–M2	17507.1	12503.4	779023	9231577
89	CLANC1–M1	10430.2	24595.3	780235	9231392
90	CLANC1–M2	8153.5	25808.4	780245	9231372
91	MQTNZ2–M1	20396.3	19062.8	778718	9230968
92	MQTNZ2–M2	8153.5	19466.2	778988	9231300
93	MQTNZ1–M1	16885.7	19143.9	778939	9231286
94	MQTNZ1–M2	9629.3	23424.3	778939	9231288
95	SJDSZ3–M1	18023.2	13230	775637	9224161
96	SJDSZ3–M2	31495.7	19811.8	775672	9224149
97	SJDSZ4–M1	21975.4	18042.9	775908	9224169
98	SJDSZ4–M2	17211.1	12596.5	775919	9224164
99	SJDSZ1–M1	14286.4	18052.6	775856	9224281
100	SJDSZ 1–M2	25218.5	19111.7	775909	9224266
101	SJDSZ2 –M1	15460.6	15238.1	775971	9224301
102	SJDSZ2 –M2	13587.2	17336.3	775985	9224341
103	CNAN1–M1	21071.9	12574	768167	9224512
104	CNAN1–M2	24120.5	11865.1	768132	9224517
105	CNHRZ1–M1	23038.5	32426.2	767587	9224642
106	CNHRZ1 –M2	20679.5	19776.1	767612	9224650
107	YAPZ1 –M1	21555.4	18741.1	763635	9229959
108	YAPZ1 –M2	15634.3	17037.1	773671	9229955
109	YADDZ1–M1	16677.1	19383	773661	9228561
110	YADDZ1–M2	19323.4	22912.1	773695	9228620
111	YANA1–M1	21171	18138.3	771974	9229582
112	YANA1–M2	29082.7	29639.9	771988	9229620
113	LQDDZ2–M1	31460.2	18445.4	771606	9228106
114	LQDDZ2–M2	28048	16990.1	771629	9228147
115	LQDDZ1– M1	9705.3	14376.7	771666	9228136
116	LQDDZ1– M2	24328.6	18548.5	771690	9228142
117	MQDDZ3–M1	20169.5	22628.7	779144	9230386
118	MQDDZ3–M2	13533.1	21474.8	779119	9230402
119	MQDDZ1–M1	451967.2	21319.3	779251	9230331
120	MQDDZ1–M2	22504.3	21242.5	779298	9230338
121	MQDDZ2–M1	26083.7	22099.4	779389	9230354
122	MQDDZ2–M2	22517.5	21590.4	779437	9230161
123	MQDDZ4–M1	17254.2	19037.4	779203	9230089
124	MQDDZ4–M2	15106.6	15794.9	779247	9230096

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-2: Concentraciones georeferenciadas de Al y Fe total en Topsoil (Continuación)

ID	Código	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Coordenadas UTM WGS 84	
				Este	Norte
125	SJDRZ2-M1	17165.9	17272.1	777036	9225699
126	SJDRZ2-M2	14945.1	20493.2	777003	9225723
127	SJDRZ3-M1	13441.9	14951.1	777062	9225787
128	SJDRZ3-M2	27222.2	16937.7	777023	9225799
129	SJDRZ1-M1	20137.5	19583.5	777154	9225753
130	SJDRZ1-M2	11250.8	12949.7	777097	9225779
131	SJDRZ4-M1	18785.3	22367.3	776365	9225079
132	SJDRZ4-M2	27528.8	9223.1	776449	9225134
133	CACCZ1-M1	22592.3	17741.2	776239	9226384
134	CACCZ1-M2	7026.3	16072.1	776182	9226352
135	SJANC1-M1	24094.4	11739.7	777853	9224595
136	SJANC1-M2	17529.9	10472.7	777890	9224467
137	SJAN1-M1	31848.7	17200.1	776786	9224297
138	SJAN1-M2	33121.9	18072.8	776723	9224230

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-9: Información edáfica georeferenciada de Topsoil

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
1	SU-01	778748	9233622	5.25	12	35.2	4
2	SU-02	780058	9233292	5.67	36.75	84.8	-
3	SU-03	779617	9233836	4.77	21.23	67.52	10
4	SU-04	780933	9233894	5.2	6.18	39.52	10
5	SU-05	781776	9234244	4.98	7.74	40.48	10
6	SU-06	781128	9235064	4.64	6.42	44.2	10
7	MY-01	775622	9230755	4.66	3.18	19.94	10
8	MY-02	776337	9230667	4.77	1.8	15.97	10
9	MY-03	776978	9230311	4.4	1.64	19.33	22
10	MY-04	777444	9230400	4.9	6.56	27.47	10
11	MY-05	777956	9229822	4.09	5.71	27.66	22
12	MY-06	778489	9231201	3.8	7.23	30.39	22
13	MY-07	779066	9229429	4	6.93	29.61	22
14	MY-08	778489	9230005	5.73	1.75	16.23	22
15	MY-09	778199	9231511	4.13	6.03	27.29	10
16	MY-10	780402	9230665	4.31	1.54	17.28	22
17	MY-11	780497	9229403	4.12	3.13	16.49	10
18	MY-12	780267	9227689	4.65	4.89	25.55	22
19	MY-13	779644	9227201	4.97	7.06	29.76	10
20	MY-14	779622	9228088	4.84	6.99	29.38	10
21	MY-15	776400	9224623	4.08	7.03	27.18	10
22	MY-16	776644	9224622	3.86	0.72	14.96	10
23	MY-17	778378	9225244	4.6	4.38	22.83	22
24	MY-18	777644	9224867	4.21	7.07	33.19	10
25	MY-19	778668	9227200	4.41	1.97	17.59	22
26	MY-20	778823	9226201	4.62	5.05	26.37	22
27	MY-21	775511	9225733	3.53	5.89	29.33	22
28	MY-22	775312	9226356	3.97	1.46	16.47	22
29	SYO-01	773478	9225782	3.86	7.72	30.28	16
30	SYO-02	773521	9225043	3.76	3.58	21.77	24
31	SYO-03	772391	9224652	3.7	8.02	32.65	22
32	SYO-04	772494	9223948	3.96	1.55	16.51	24
33	SYO-05	770521	9225674	4.45	1.7	15.9	19
34	SYO-06	768500	9226978	4.34	1.29	14.63	25
35	SYO-07	769347	9227647	4.6	3.65	20.75	19
36	SYO-08	768674	9228078	4.71	8.16	33.41	21
37	SYO-09	770934	9227478	5.55	5.21	24.59	19
38	SYO-10	770352	9227034	4.41	3.63	20.88	19
39	SYO-11	770130	9228165	4.17	8.45	33.34	19
40	SYO-12	772548	9228158	4.6	8.35	32.29	19

FUENTE: Yanacochoa

Tabla 4-3: Información edáfica georeferenciada de Topsoil (continuación)

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
41	SYO-13	772217	9229374	5.8	9.21	35.12	21
42	SYO-14	772956	9229891	4.41	9.14	33.73	19
43	SYO-15	775376	9228391	3.88	4.62	23.44	21
44	CN	764895	9224330.7	4.54	4.54	23.1	10
45	Chac	767060	9223371.7	4.7	3.69	24.8	10
46	Pe	767020	9224369.7	4.89	3.67	27.5	34
47	MCN	767361	9223916.7	4.88	6.25	28.04	34
48	PCN	766949	9224901.7	4.8	6.91	24.58	10
49	Mo	768752	9227985.7	4.54	6.25	20.1	10
50	Ti	767457	9225659.7	4.53	5.15	26.55	34
51	Cu	770847	9227158.7	4.39	5.63	20.28	34
52	QY	771117	9227882.6	4.1	4.9	21.42	10
53	Dd	772961	9229498.6	4.14	6.72	23.01	10
54	Pe - Chac/D	767852	9223499.7	4.13	5.06	28.72	34
55	LL	780193	9228773.6	4.28	5.19	27.1	34
56	Bo	777976	9230509.6	4.14	9.18	28.63	34
57	OM	779984	9227389.6	4.12	2.99	21.35	10
58	Chaq	778499	9227681.6	4.1	4.16	26.71	10
59	MMS	778102	9230952.6	4.3	6.06	31.21	10
60	PL	776366	9229614.6	4.53	6.42	21.05	34
61	Ar	778667	9228873.6	4.07	4.67	23.4	34
62	RC	777751	9231148.6	4.17	6.55	26.37	10
63	Su	780168	9230287.6	4.17	5.85	23.1	10
64	Ar - OM	778947	9226653.6	4.24	5.88	21.89	10
65	Chaq	778512	9226565.6	4.4	8.37	27.1	20
66	PL	777295	9229743.6	4.49	5.74	22.03	10
67	OM	779025	9228331.6	4.16	5.75	25.68	10
68	LP	768580	9224430.7	4.17	5.9	29.66	10
69	SJ - LS	776952	9224963.7	4.06	6.53	22.06	20
70	LS	778533	9225189.7	4.13	5.29	23.28	10
71	LS	777671	9225285.7	4.27	6.33	29.57	10
72	IC	776270	9224565.7	4.38	4.98	23.25	10
73	SJ - LS	777441	9225034.7	4.09	8.76	28.67	20
74	En	775610	9225473.7	4.04	2.83	19.47	10
75	En - SJ	775367	9226184.7	4.07	6.42	22.1	20
76	LQ - Ti	772347	9224938.7	4.16	4.33	26.79	10
76	SJAN1-M1	776788	9224299	-	-	-	10
77	LQ - Ti	771431	9224967.7	4.53	6.56	31.37	-
77	SJAN1-M2	776725	9224235	-	-	-	10
78	SJAN1-M1	776786	9224297	4.64	4.29	14.76	8

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-3: Información edáfica georeferenciada de Topsoil (continuación)

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
79	SJAN1-M2	776723	9224230	4.65	3.6	13.81	8
80	SJANC1-M1	777853	9224595	4.62	7.83	12.52	10
81	SJANC1-M2	777890	9224467	4.48	6.09	16	10
82	MQAN1-M1	777863	9230895	4.42	5.51	12.15	40
83	MQAN1-M2	777893	9230912	4.42	5.34	8.54	40
84	MQAN1Q-M1	778579	9230960	4.78	2.32	16.18	10
85	MQAN1Q-M2	778580	9230965	4.82	4.18	12.08	10
86	MMANC1-M1	779053	9231587	4.94	7.66	10.07	10
87	MMANC1-M2	779023	9231577	4.97	6.55	6.75	10
88	YAAN1-M1	771641	9229263	4.5	4.52	9.05	21
88	YANNC1-M1	767757	9231375	-	-	-	10
89	YAAN1-M2	771641	9229268	4.54	5.68	10.91	21
89	YANNC1-M2	767765	9231419	-	-	-	10
90	CNAN1-M1	768167	9224512	4.46	6.9	7.21	21
91	CNAN1-M2	768132	9224517	5.57	5.63	36.48	21
92	GRAN1	774227	9225121	3.86	5.36	19.2	2
92	103	777850	9230895	-	-	-	34
93	SJDRZ1	775336	9223754	3.82	4.48	22.72	10
93	103	777893	9230930	-	-	-	10
94	SJAN1s	774426	9221872	4.39	6.08	21.6	10
94	CLANC 1 – M1	780235	9231392	-	-	-	34
95	1 - WP	765375	9223517	4.1	1.72	10.7	26
95	CLANC 1 – M2	780245	9231372	-	-	-	14
96	2 - WP	765621	9224447	4.2	3.6	13	29
96	GRAN1	774229	9225121	-	-	-	2
97	3 - WP	766398	9224963	4.2	3.64	17.28	33
98	4 - WP	768020	9223844	4.1	6.13	22.72	18
99	5 - WP	765375	9226079	4.3	3.01	18	25
100	6 - WP	769756	9224730	2.9	5.83	15.08	19
101	7 - WP	769061	9228093	4.1	5.51	30.92	37
102	8 - WP	765521	9223947	3.1	5.05	13.72	14
103	9 - WP	771014	9227627	4.2	3.81	15.52	16
104	10 - WP	771816	9228625	5.7	3.45	20	15
105	11 - WP	767163	9223242	4	3.87	29.6	34
106	12 - WP	774726	9230672	4.2	6.78	39	15
107	13 - WP	775585	9230534	4.2	3.89	28	21
108	14 - WP	775482	9230875	4	6.36	35.4	26
109	15 - WP	776136	9229927	4.3	6.55	33	20
110	16 - WP	776812	9230280	4.29	6.07	21.82	30
111	17 - WP	777913	9231372	4	3.68	13.32	41

FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-3: Información edáfica georeferenciada de Topsoil (continuación)

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
112	18 - WP	778453	9230896	3.2	15.08	37.68	37
113	19 - WP	780135	9230755	3.8	6.03	25.02	8
114	20 - WP	780544	9228805	4.12	3.83	28.4	29
115	21 - WP	778857	9228956	4.3	12.88	33.74	17
116	22 - WP	778645	9226472	3.62	6.44	18.44	18
117	23 - WP	774741	9224437	4	5.47	18.91	8
118	24 - WP	776937	9224569	3.9	3.67	18.72	20
119	25 - WP	777689	9224029	4.1	6.04	32.06	18
120	26 - WP	777738	9224501	4.2	6.38	31	11
121	27 - WP	767843	9221189	4	3.96	15.08	18
122	28 - WP	768124	9221965	4.1	6.81	28.49	26
123	CY-1	769315	9224481	4.39	4.49	24.64	18
124	CY-2	774397	9225153	4.53	5.05	22.72	10
125	CY-3	777085	9224783	4.72	6.09	32	8
127	-	780545	9228805	-	-	-	29
128	-	778857	9228956	-	-	-	17
129	4a	768113	9224513	-	-	-	17
130	4b	768075	9224503	-	-	-	16
131	5a	765370	9226081	-	-	-	26
132	11a	771888	9229596	-	-	-	14
133	11b	771869	9229622	-	-	-	15
134	33a	774726	9230675	-	-	-	14
135	35a	778134	9231210	-	-	-	40
136	-	777915	9231372	-	-	-	41
137	35b	778149	9231268	-	-	-	41
138	-	778611	9230948	-	-	-	10
139	51a	778648	9226470	-	-	-	19
140	85a	776749	9224325	-	-	-	30
141	85b	776695	9224364	-	-	-	29
142	90a	777841	9224370	-	-	-	20
143	90b	777825	9224305	-	-	-	22
144	-	774741	9224437	-	-	-	8
145	CLANC1 – M1	780238	9231392	-	-	-	8
146	CLANC1 – M1	780250	9231395	-	-	-	34
147	CLANC1 – M2	780245	9231380	-	-	-	14
148	MQTNZ2 – M1	778718	9230968	-	-	-	14
149	MQTNZ2 – M2	778988	9231300	-	-	-	16
150	MQTNZ1 – M1	778939	9231286	-	-	-	10
151	SJDSZ 3 –M1	775637	9224161	-	-	-	10
152	SJDSZ 3 –M2	775672	9224149	-	-	-	10

FUENTE: Yanacochoa

Tabla 4-3: Información edáfica georeferenciada de Topsoil (continuación)

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
153	SJDSZ 4 –M1	775908	9224169	-	-	-	10
154	SJDSZ 4 –M2	775919	9224164	-	-	-	10
155	SJDSZ 1 –M1	775856	9224281	-	-	-	8
156	SJDSZ 1 –M2	775909	9224266	-	-	-	10
157	SJDSZ 2 –M1	775971	9224301	-	-	-	8
158	SJDSZ 2 –M2	775985	9224341	-	-	-	8
159	CNAN 1 –M1	768170	9224520	-	-	-	10
160	CNAN 1 –M2	768132	9224520	-	-	-	10
161	CNHRZ 1 –M1	767587	9224642	-	-	-	10
162	CNHRZ 1 –M2	767612	9224650	-	-	-	6
163	YAPZ 1 –M1	763635	9229959	-	-	-	10
164	YAPZ 1 –M2	773671	9229955	-	-	-	14
165	YADDZ 1 –M1	773661	9228561	-	-	-	12
166	YANA 1 –M1	771974	9229582	-	-	-	10
167	YANA 1 –M2	771988	9229620	-	-	-	10
168	LQDDZ 2 –M1	771606	9228106	-	-	-	20
169	LQDDZ 2 –M2	771629	9228147	-	-	-	20
170	LQDDZ 1 – M1	771666	9228136	-	-	-	14
171	LQDDZ 1 – M2	771690	9228142	-	-	-	16
172	MQDDZ 3 – M1	779144	9230386	-	-	-	14
173	MQDDZ 3 – M2	779119	9230402	-	-	-	8
174	MQDDZ 1 – M1	779251	9230331	-	-	-	10
175	MQDDZ 1 – M2	779298	9230338	-	-	-	12
176	MQDDZ 2 – M1	779389	9230354	-	-	-	10
177	MQDDZ 2 – M2	779437	9230161	-	-	-	14
178	MQDDZ 4 – M1	779203	9230089	-	-	-	14
179	MQDDZ 4 – M2	779247	9230096	-	-	-	8
180	SJDR Z 2 – M2	777003	9225723	-	-	-	14
181	SJDR Z 3 – M1	777062	9225787	-	-	-	12
182	SJDR Z 3 – M2	777023	9225799	-	-	-	6
183	SJDR Z 1 – M1	777154	9225753	-	-	-	14
184	SJDR Z 1 – M2	777097	9225779	-	-	-	8
185	SJANC 1 – M1	777855	9224597	-	-	-	10
186	SJANC 1 – M2	777895	9224468	-	-	-	10
189	SJAN1 – M1	775588	9224126	-	-	-	10
190	SJAN1-M2	776925	9225632	-	-	-	10
191	SJANC1-M2	774678	9222244	-	-	-	10
192	YAAN1-M1	771893	9229635	-	-	-	10
193	YAAN1-M2	771899	9229635	-	-	-	10
194	CNANC1 – M1	768808	9222528	-	-	-	10

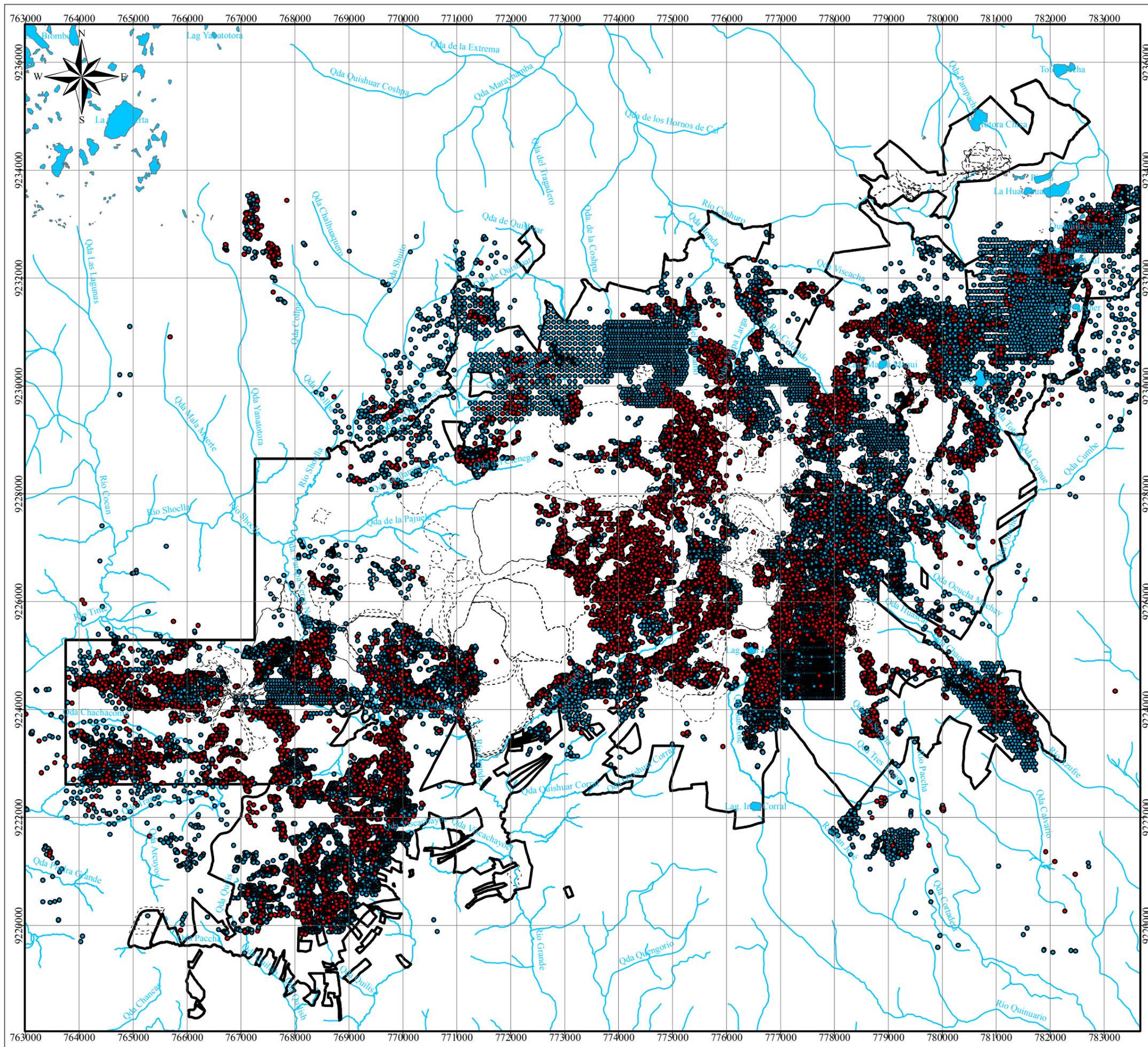
FUENTE: Yanacocha

Tabla 4-3: Información edáfica georeferenciada de Topsoil (continuación)

ID	Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		pH	Carbono orgánico (%)	CIC (cmol+/kg)	Arcilla (%)
		Este	Norte				
195	CNANC1 – M2	768810	9222528	-	-	-	10
196	GRAN1-M1	774479	9225493	-	-	-	10
197	GRAN1-M2	774482	9225495	-	-	-	10
198	SJAN1s	774428	9221875	-	-	-	8
199	MMANC1	778719	9231317	-	-	-	6
201	LQarUN	768949	9227760	-	-	-	11
202	LQarN	772600	9227767	-	-	-	23
203	YAAN1	771635	9229255	-	-	-	8
204	MMDDZ3	778833	9230013	-	-	-	18
205	MQTNZ1	778611	9230956	-	-	-	8
206	CNHRZ1	767424	9224227	-	-	-	11
207	CNANC1	768133	9222880	-	-	-	9
208	RGCO	769197	9222021	-	-	-	7
209	MMANC1	779296	9231982	-	-	-	13
210	SJANC1	777876	9224227	-	-	-	5
211	SJDRZ2	776647	9225328	-	-	-	11
212	SJDSZ3	775619	9223911	-	-	-	9

FUENTE: Yanacocha

Anexo 5
Mapas de ubicación y de distribución



UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

- Cateos: [As] >140 mg/kg
- Cateos: [As] ≤ 140 mg/kg

LEYENDA

- Componentes
- Limite de Yanacocha
- ~ Red Hidrográfica
- Lagunas

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

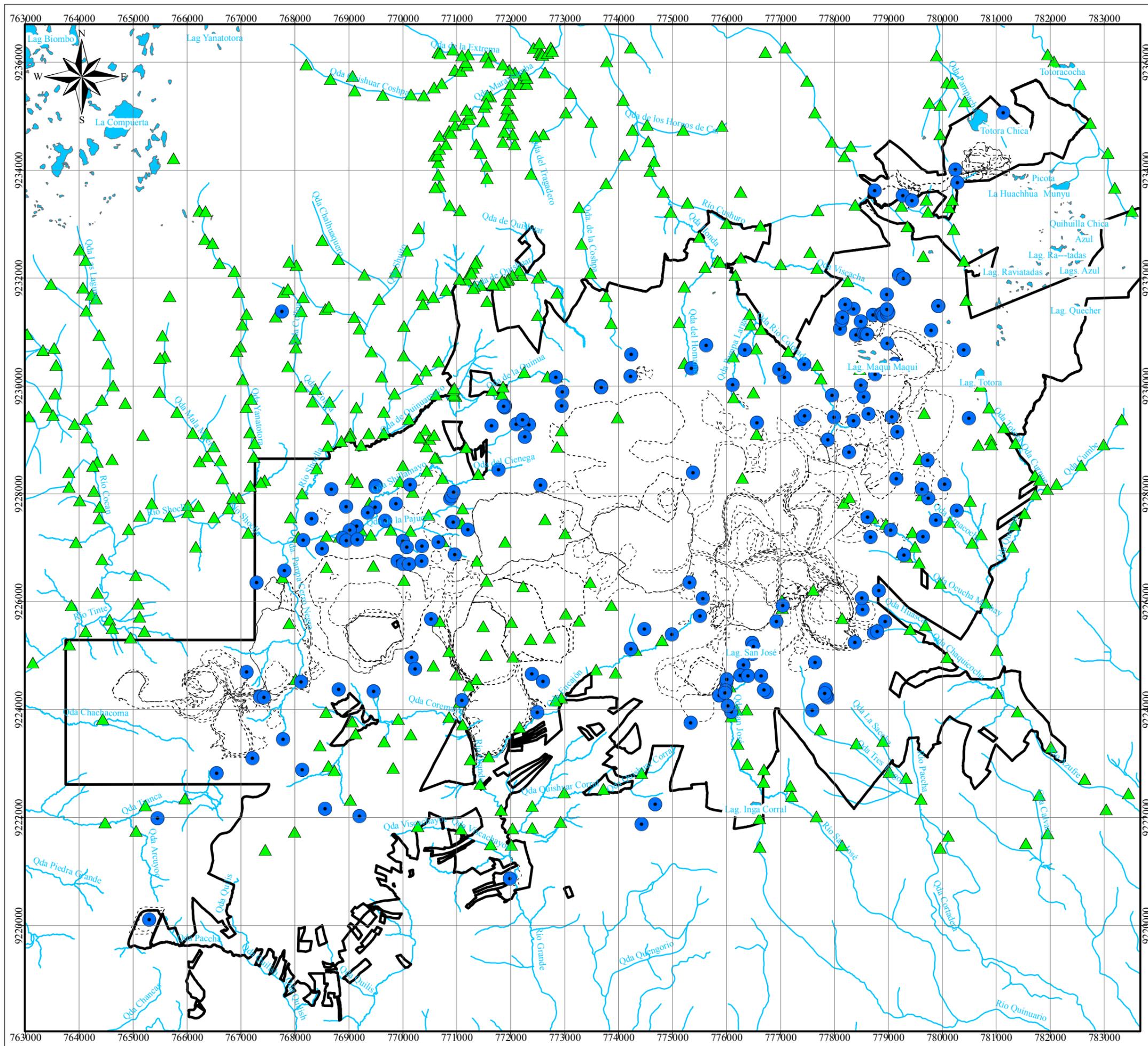
Escala: 1:70,000

MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

Cateos Exploratorios en Afloramientos Roccosos

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.	2019
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera	5-1



UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

- ▲ Cateos exploratorios de suelo
- Muestras históricas de suelo

LEYENDA

- Límite de Yanacocha
- ~ Red Hidrográfica
- Lagunas
- Componentes

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S

Escala: 1:70,000



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

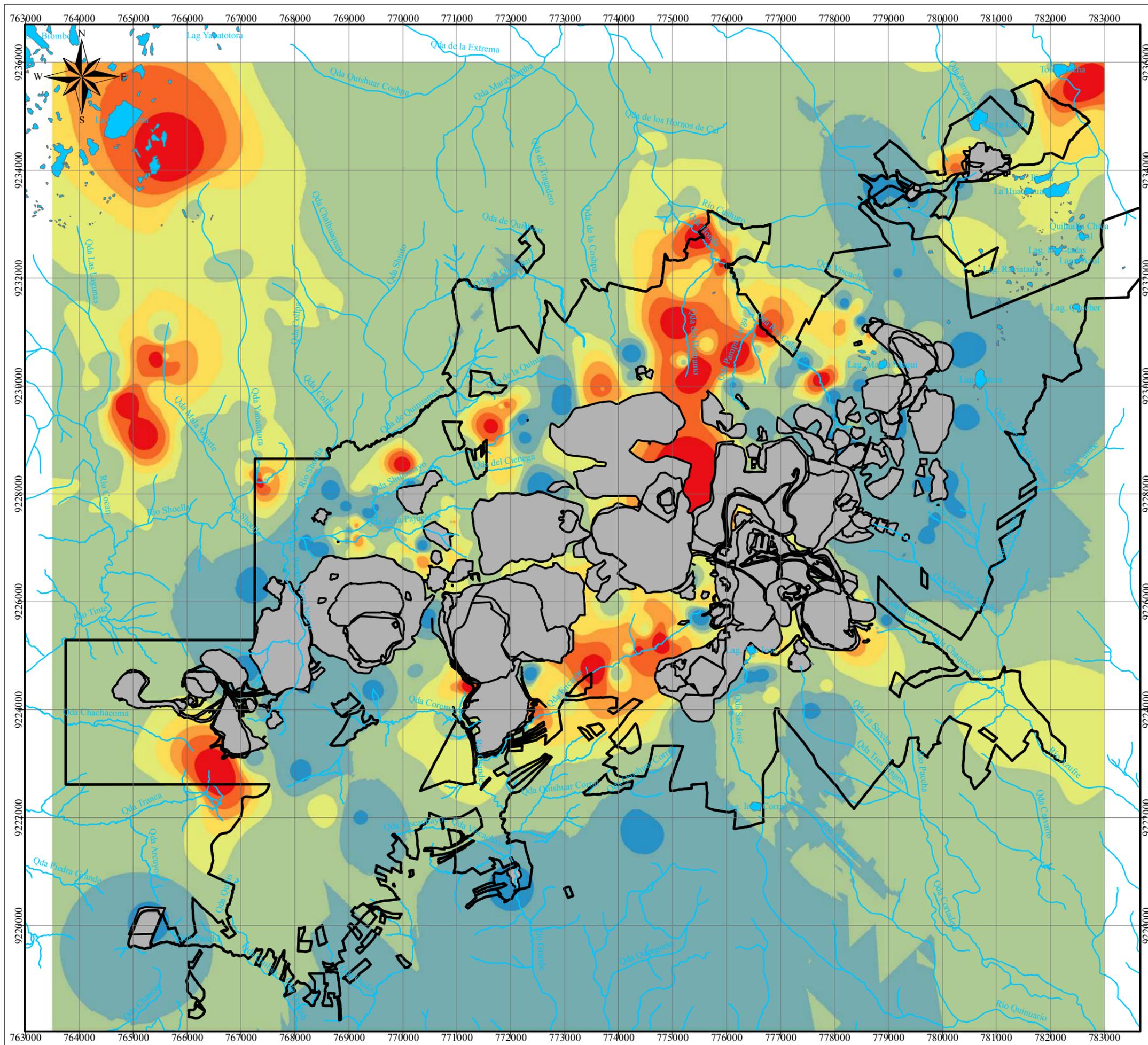
Ubicación de Cateos y Muestras de Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

2019

Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera

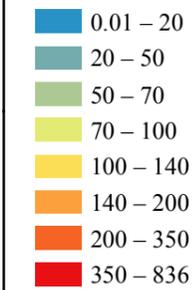
5-2



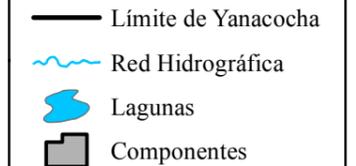
UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA



LEYENDA



Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia

Escala: 1:70,000



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACocha

Arsénico Total en Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

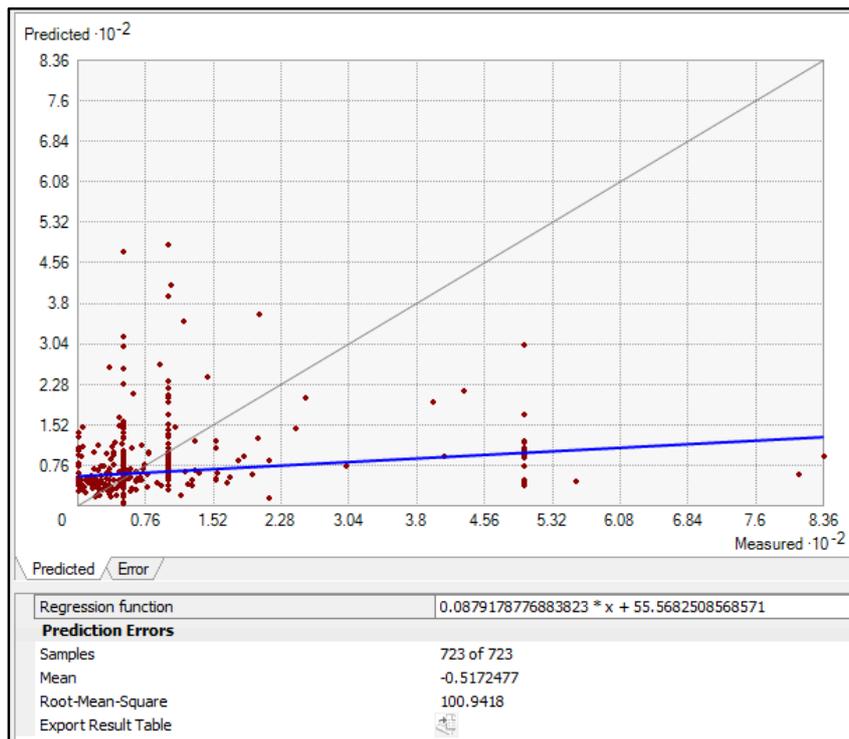
2019

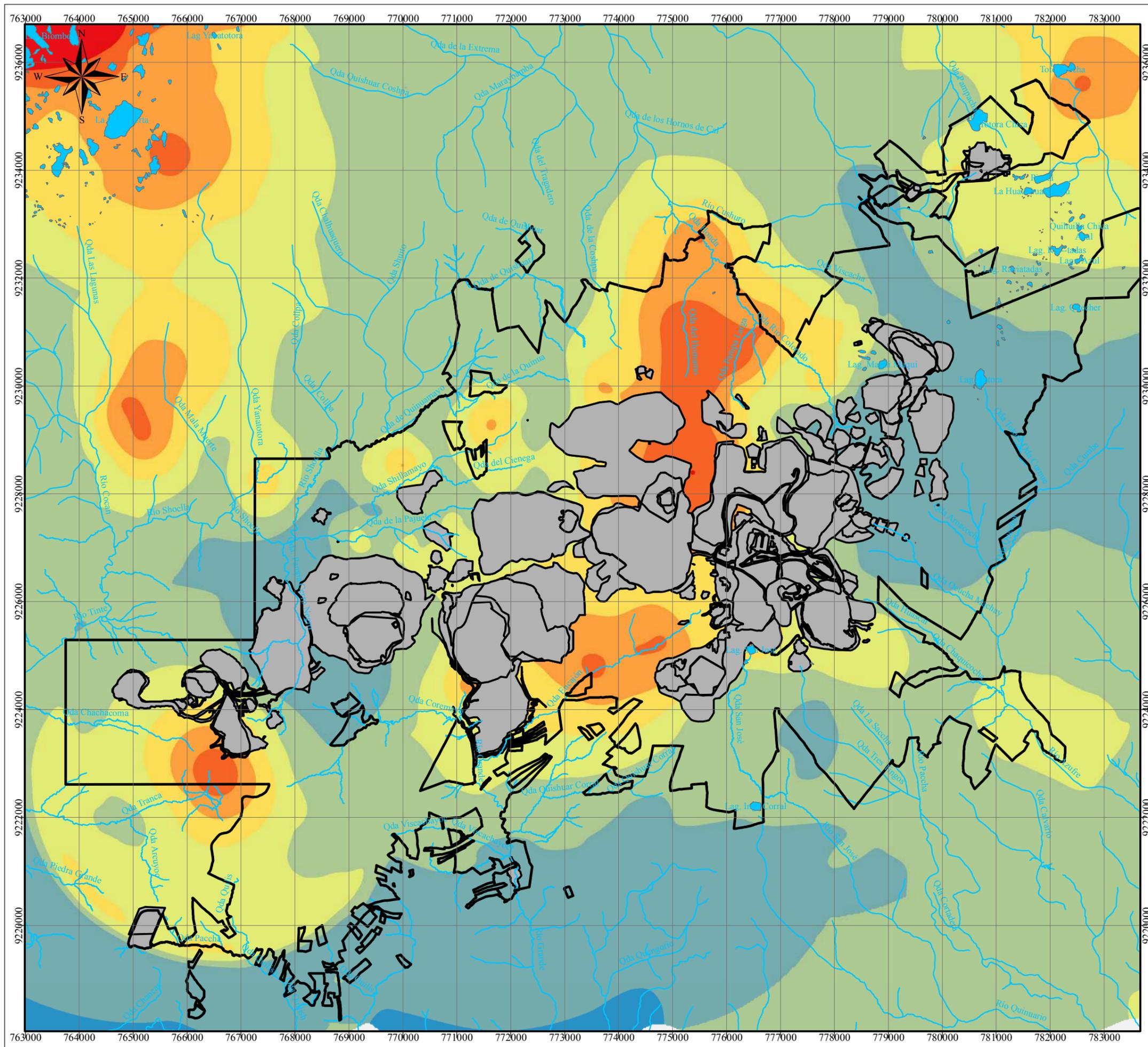
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera

5-3.1

Parámetros IDW para As total

General Properties	
Power	3
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Standard
Maximum neighbors	12
Minimum neighbors	10
Sector type	⊕ 4 Sectors
Angle	45
Major semiaxis	6864.806
Minor semiaxis	6864.806
<i>Anisotropy factor</i>	1
Predicted Value	
X	773446
Y	9228230
<i>Value</i>	81.13277
Weights (48 neighbors)	





UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA
Prediction Map

0.01 – 20
20 – 50
50 – 70
70 – 100
100 – 140
140 – 200
200 – 350
350 – 836

LEYENDA

- Límite de Yanacocha
- ~ Red Hidrográfica
- ☪ Lagunas
- ▭ Componentes

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Kriging ordinario

Escala: 1:70,000



MAESTRÍA EN SUELOS

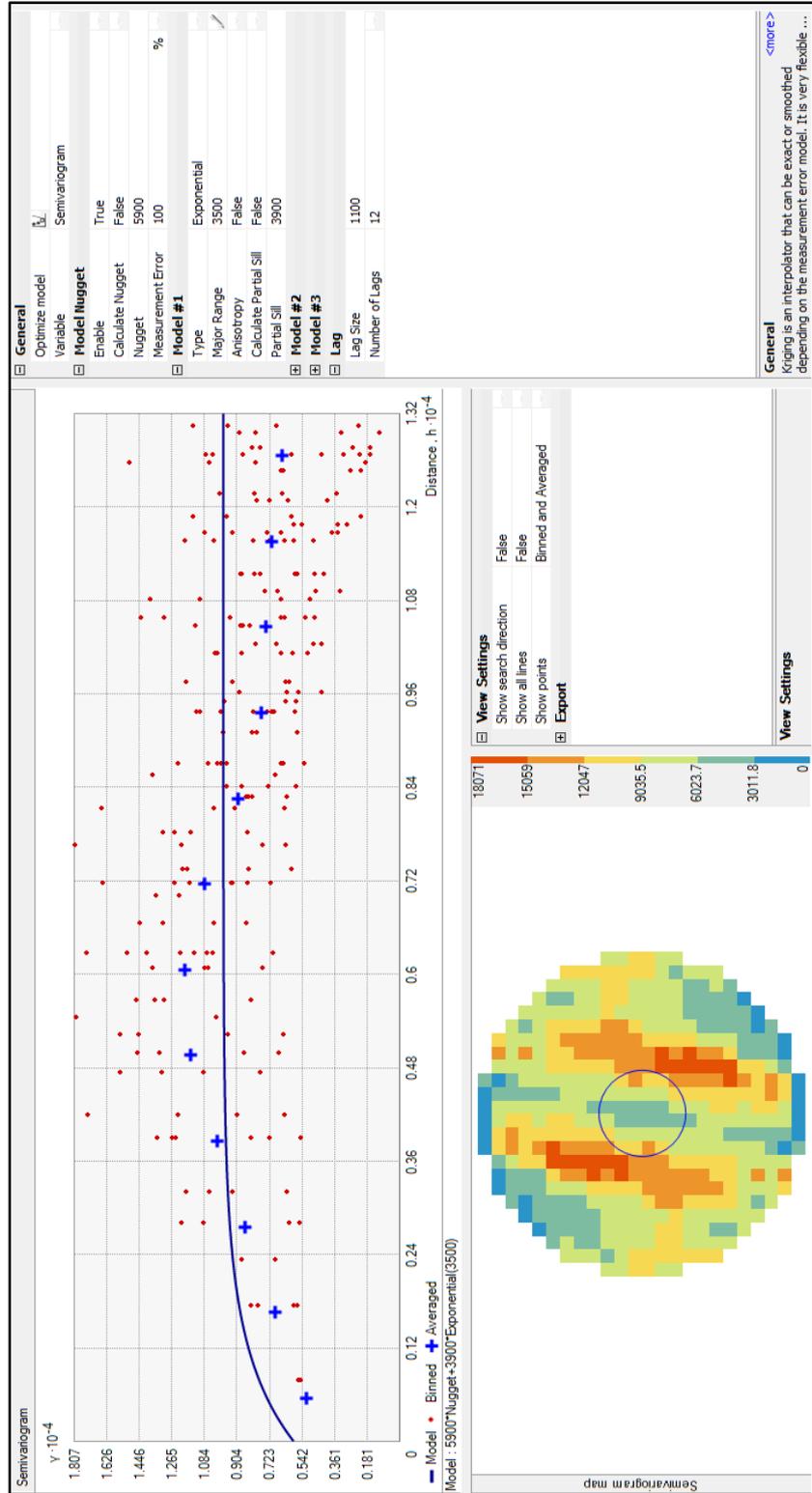
MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

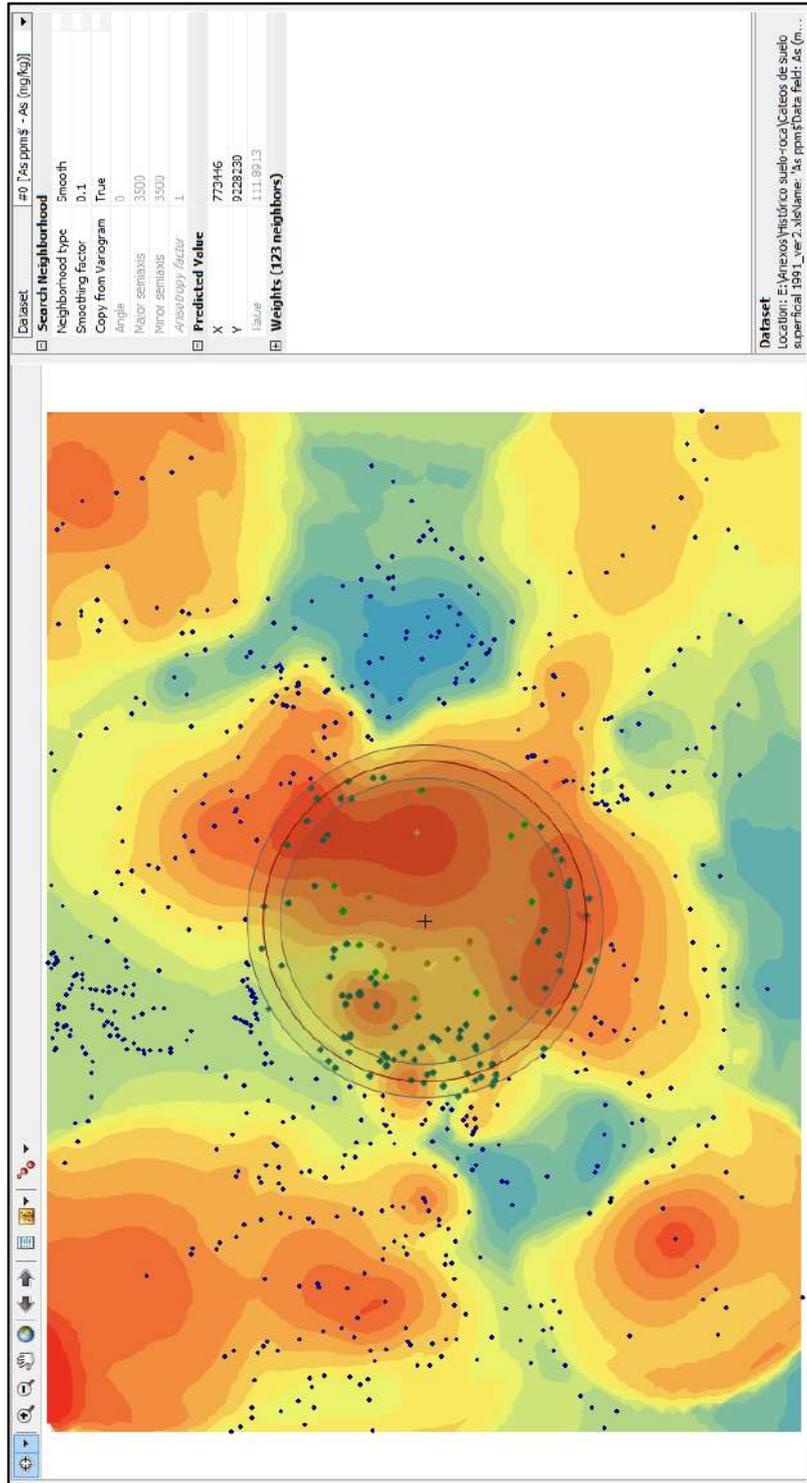
Arsénico Total en Suelo Superficial

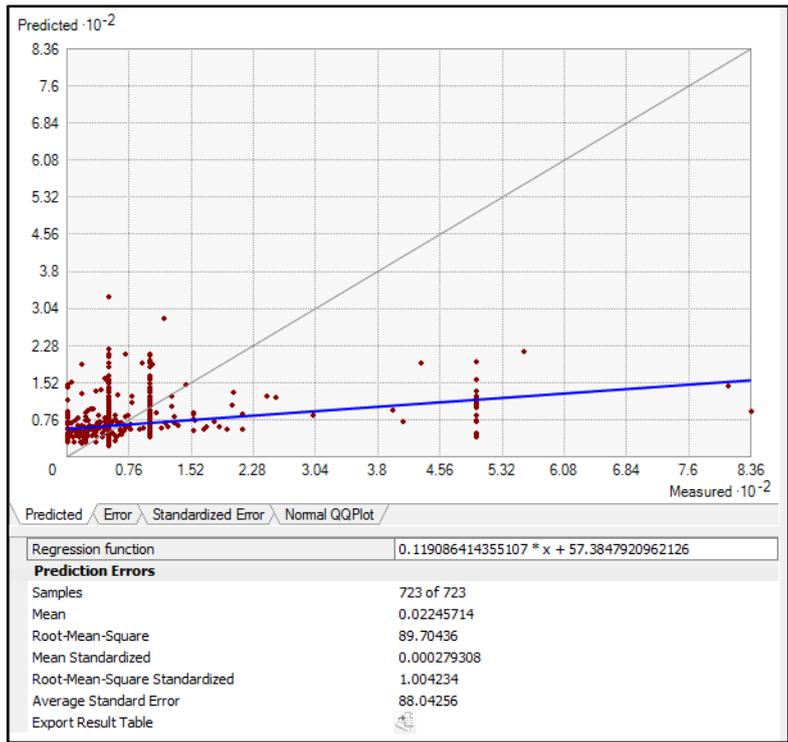
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.	2019
--	-------------

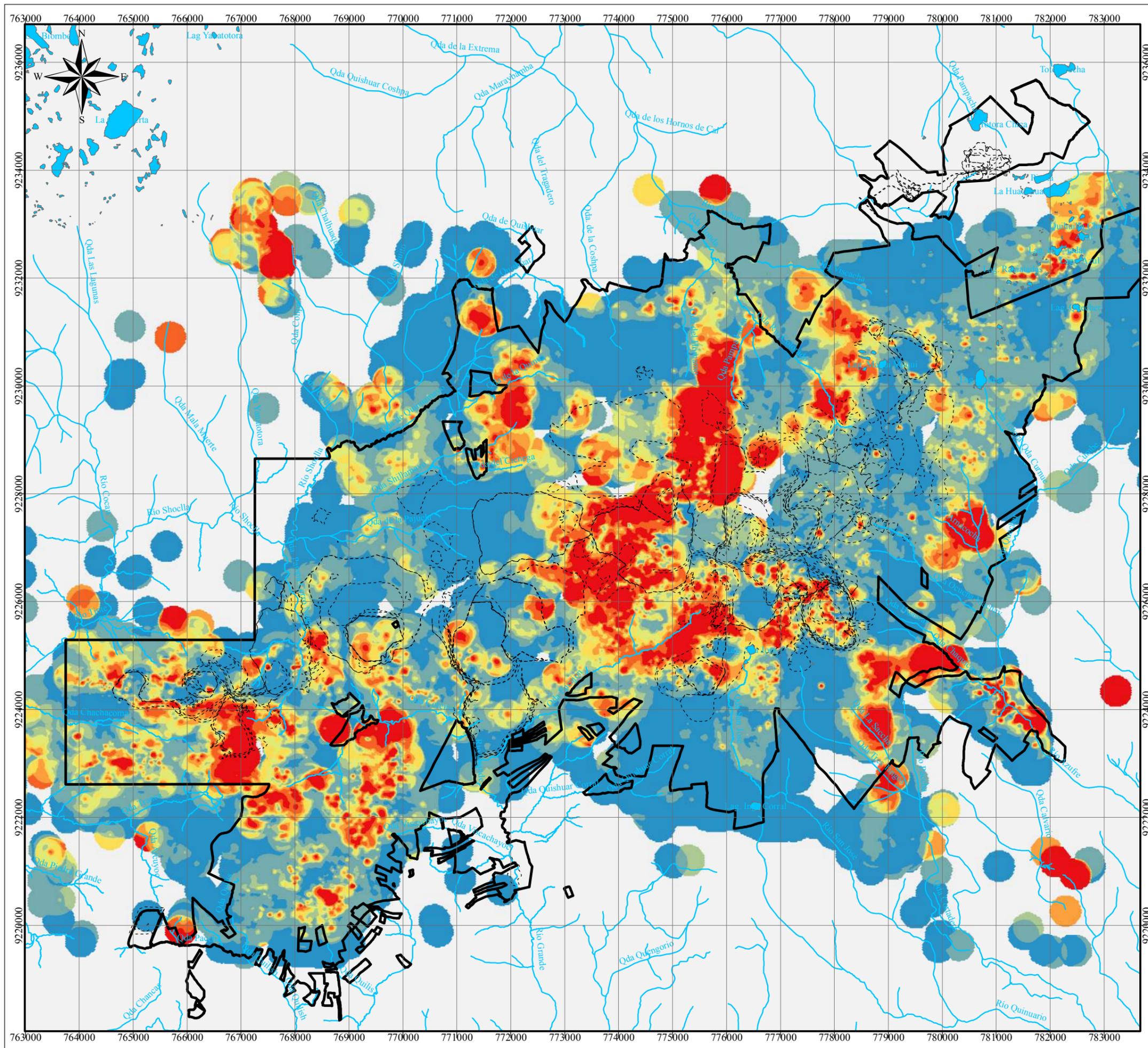
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera	5-3.2
---	--------------

Parámetros Kriging Ordinario para As en Topsoil de Yanacocha

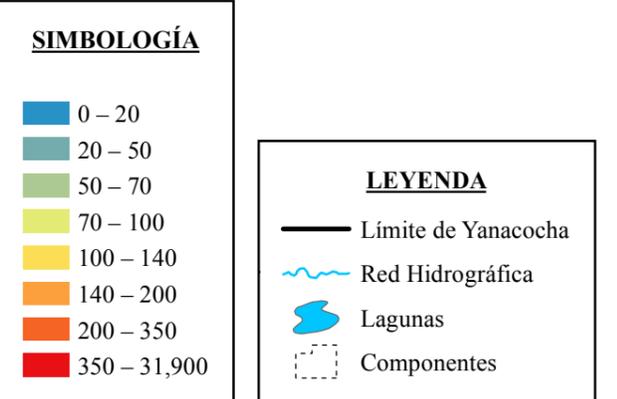








UBICACIÓN DE LA VISTA



Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostrza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Kriging ordinario

Escala: 1:70,000



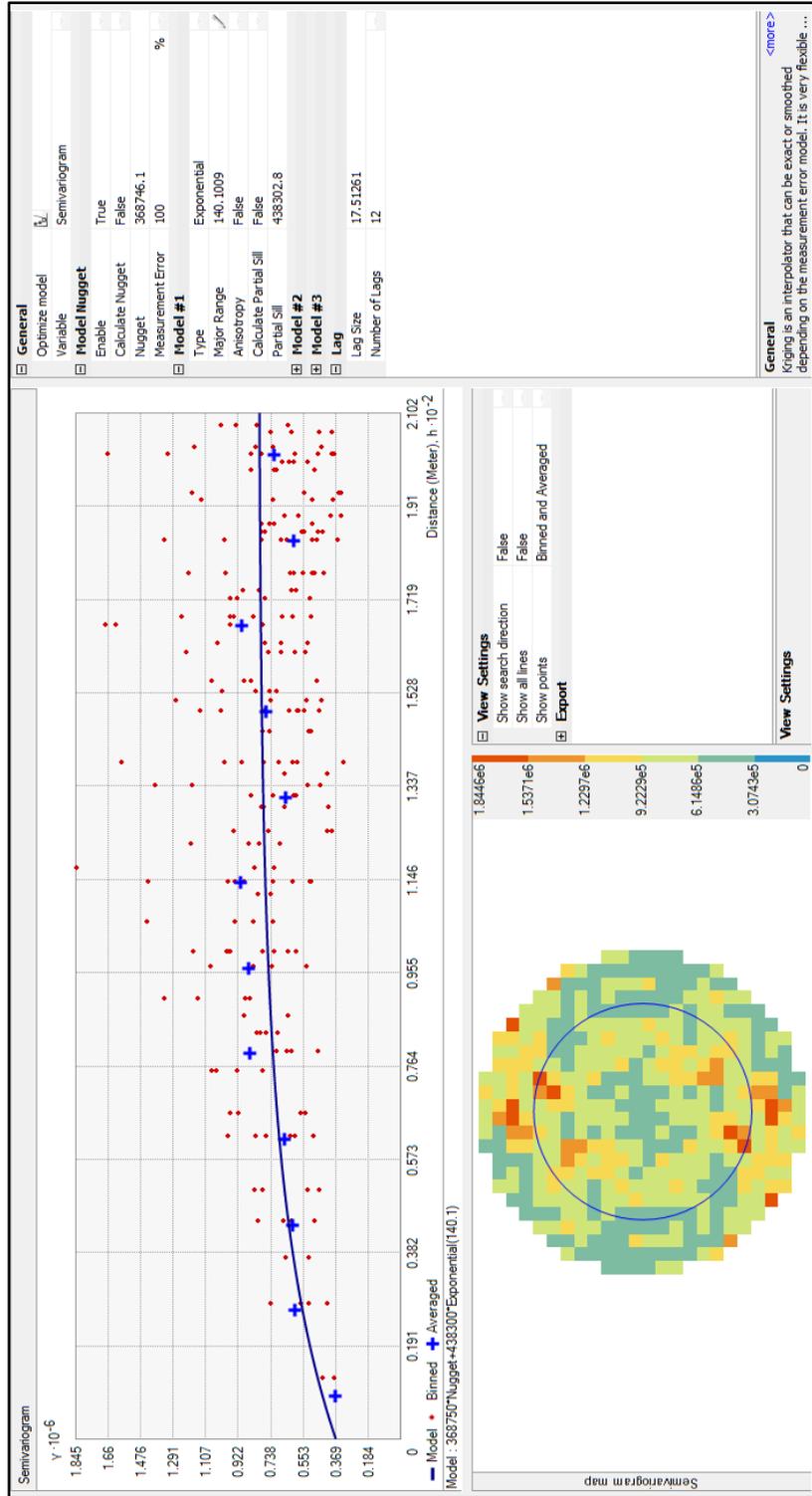
MAESTRÍA EN SUELOS

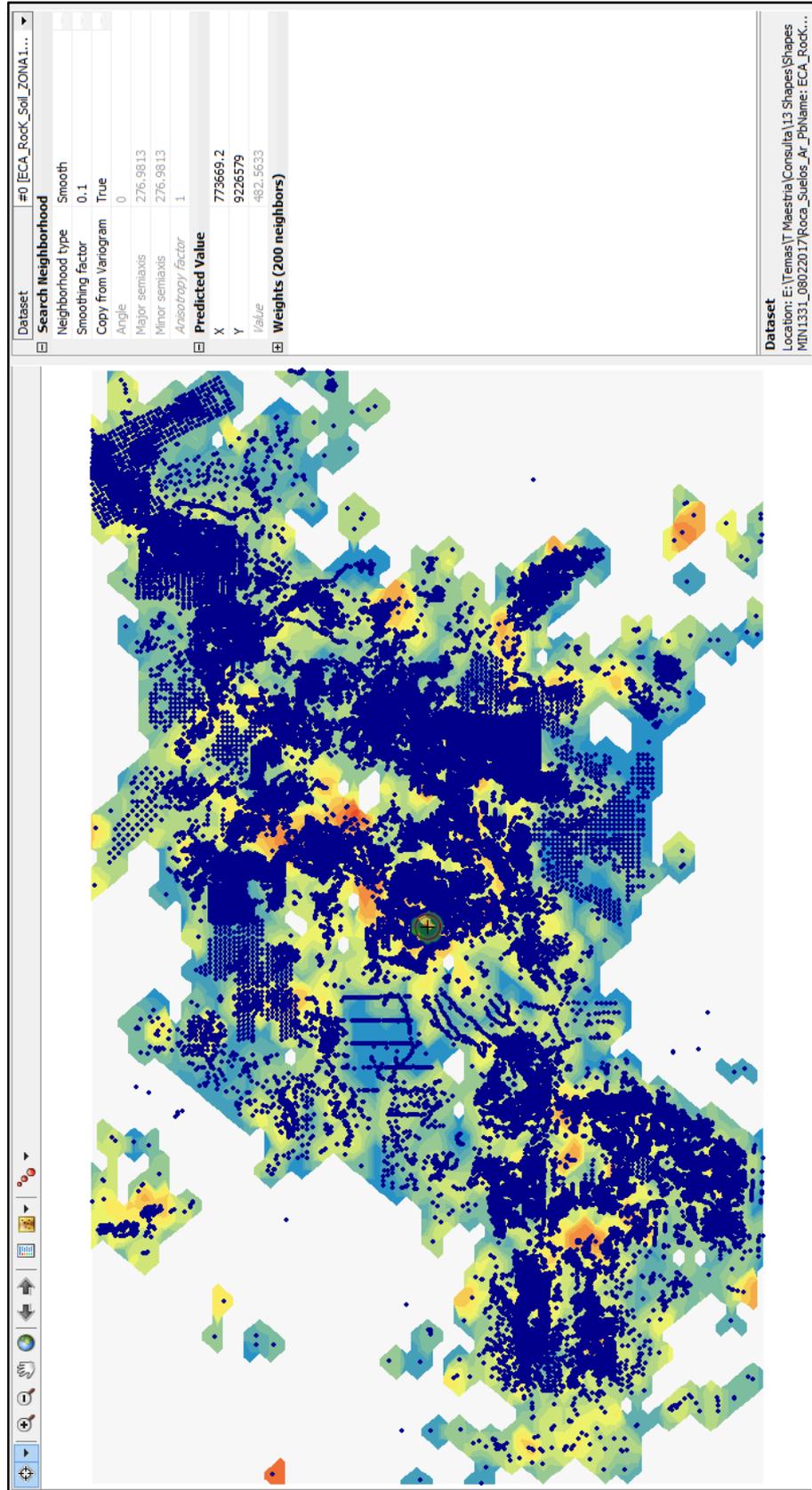
MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

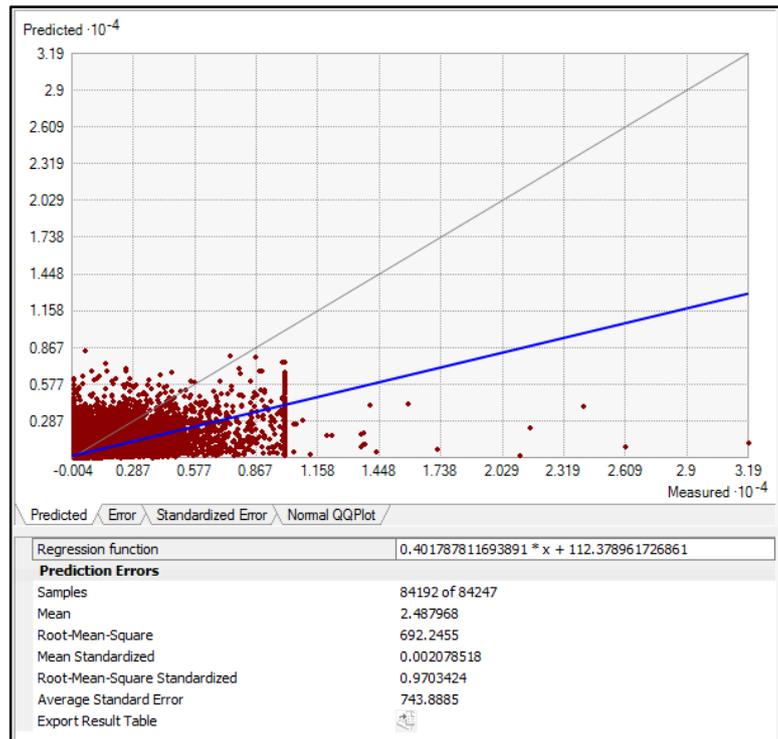
Isoconcentraciones de As Total en Afloramientos

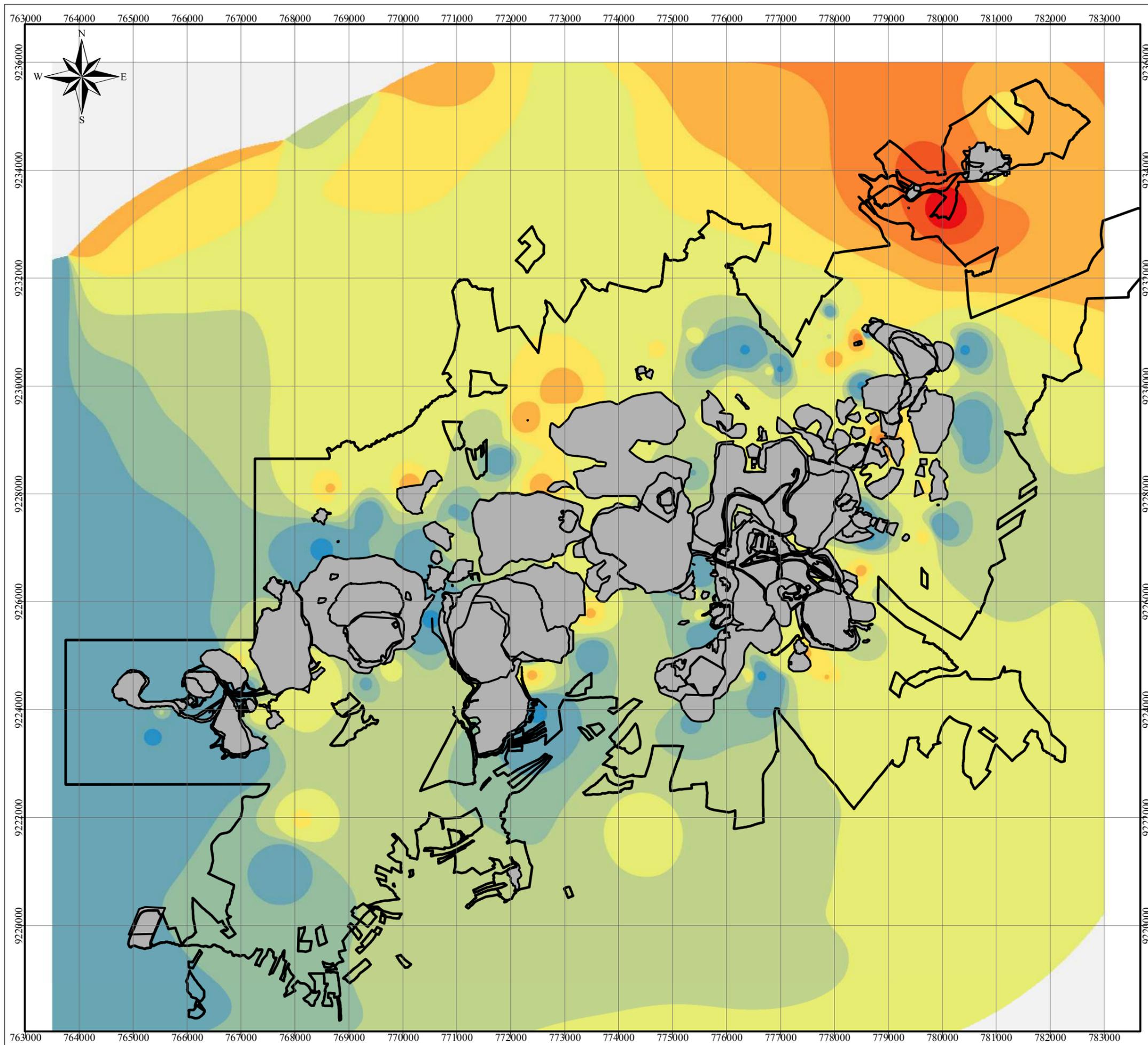
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.	2019
Tesista: Jorge Eduardo Hinostrza Rivera	5-4

Parámetros Kriging Ordinario para As en afloramientos rocosos

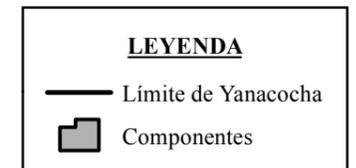
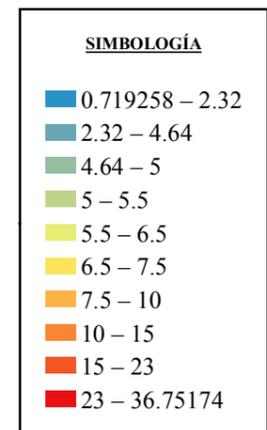






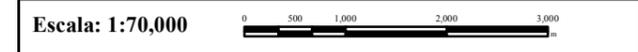


UBICACIÓN DE LA VISTA



Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

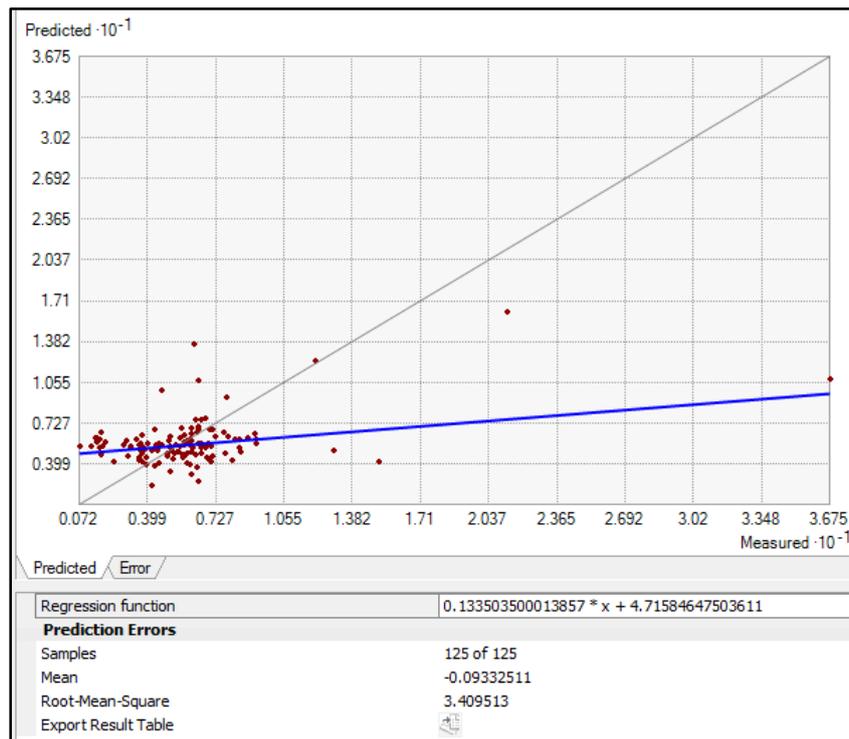
Distribucion de Carbono Orgánico en Suelo Superficial

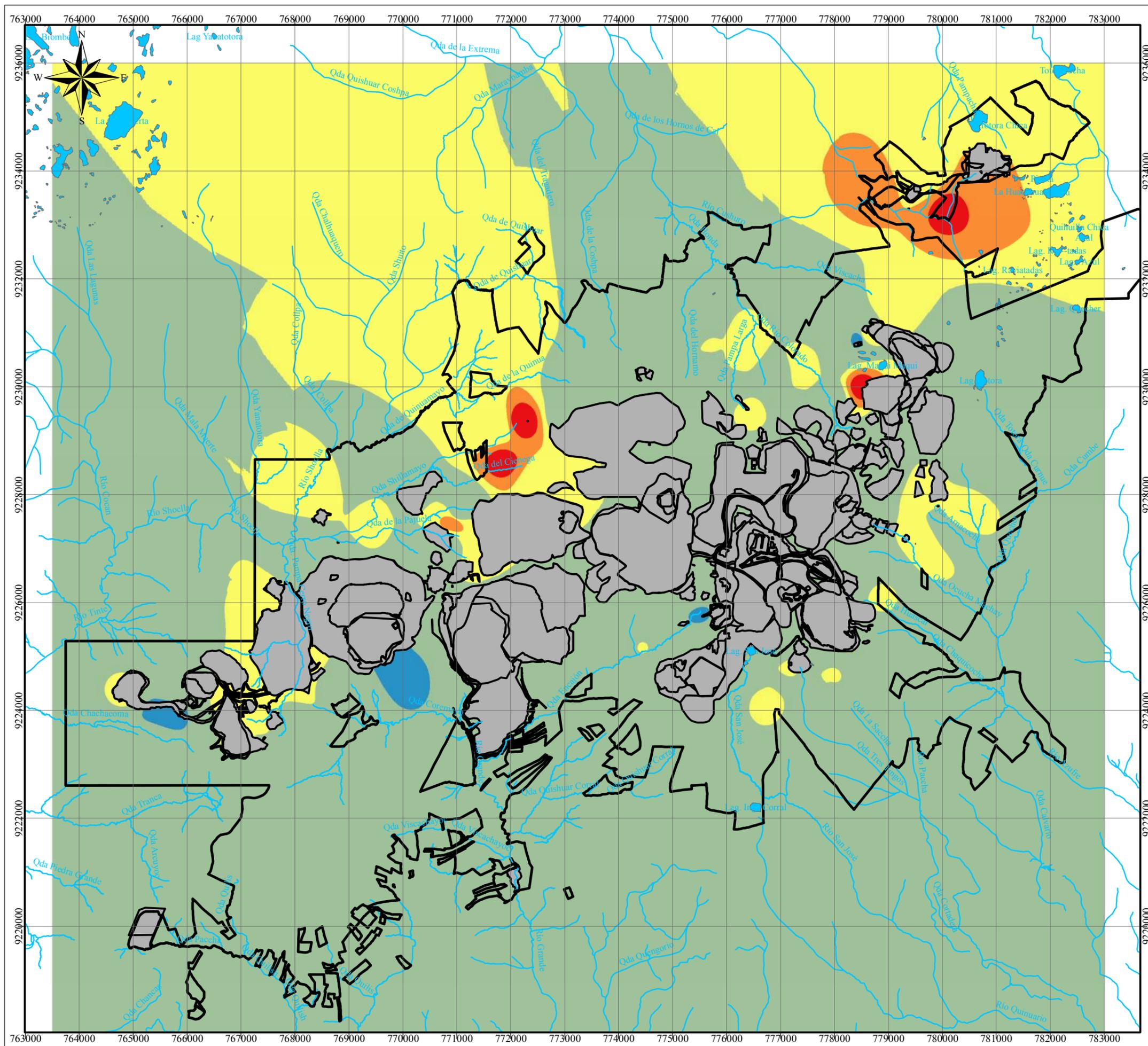
Fuente: Minera Yanacocha S.R.L. 2019

Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera 5-5

Parámetros IDW para CO total

General Properties	
Power	2
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Smooth
Smoothing factor	0.2
Angle	0
Major semiaxis	5462.903
Minor semiaxis	5462.903
<i>Anisotropy factor</i>	1
Predicted Value	
X	773335.4
Y	9228127
<i>Value</i>	6.110101
Weights (94 neighbors)	

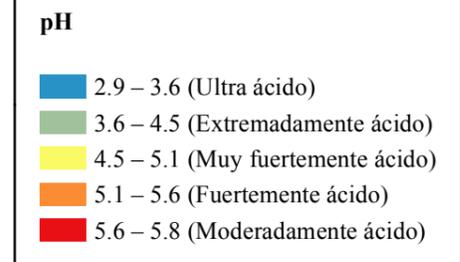




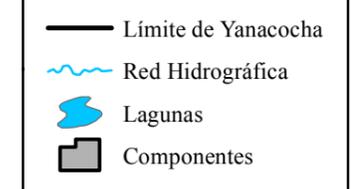
UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

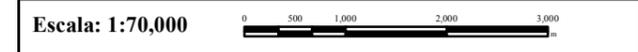


LEYENDA



Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia



MAESTRÍA EN SUELOS

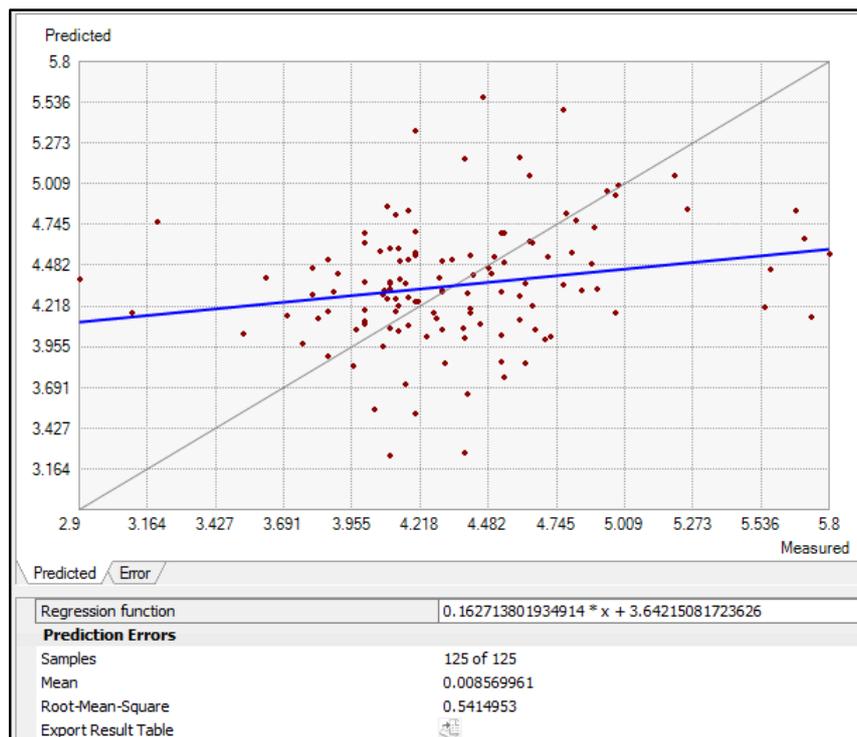
MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

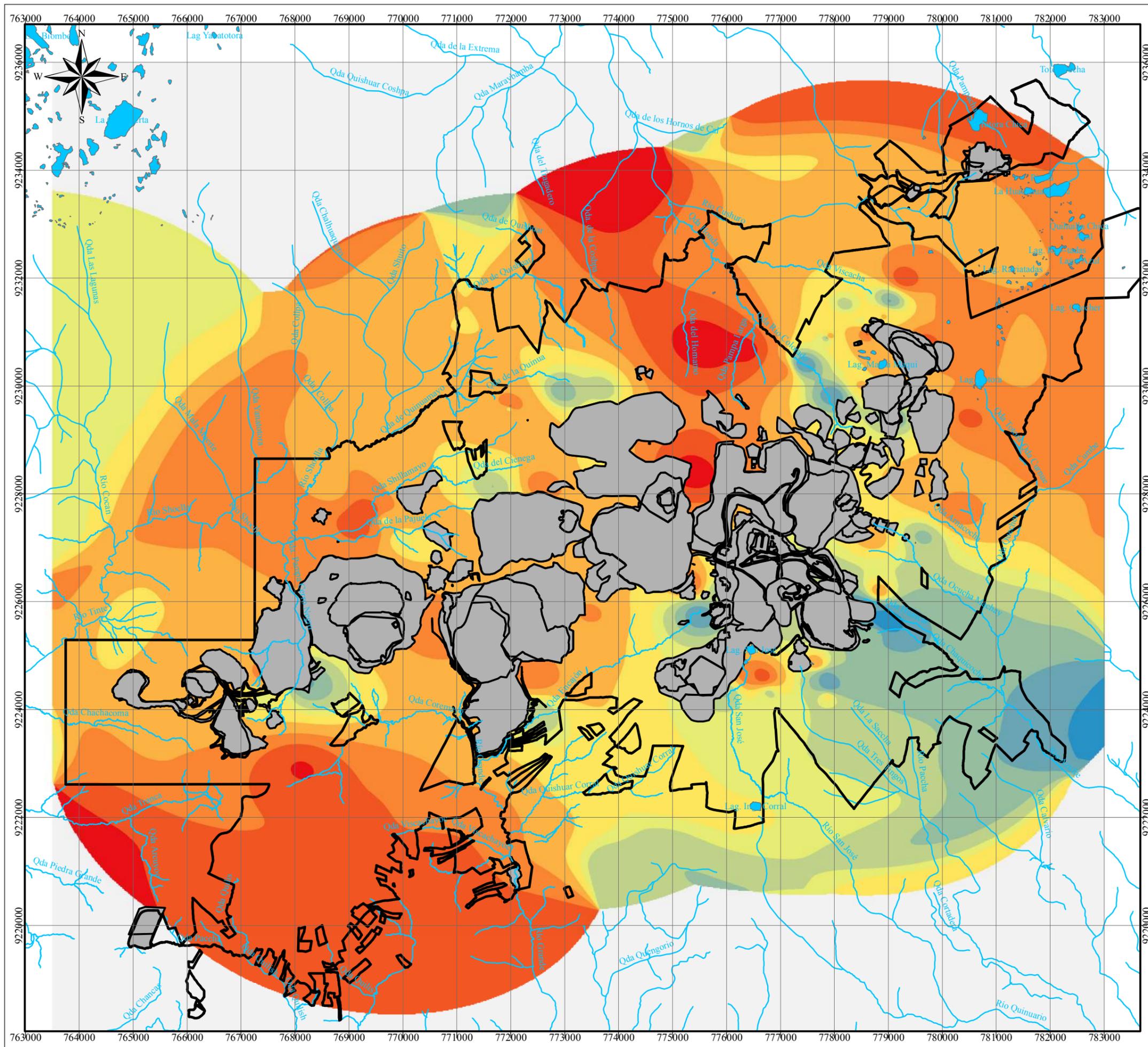
Distribucion de pH en Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.	2019
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera	5-6

Parámetros IDW para pH

General Properties	
Power	4
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Standard
Maximum neighbors	15
Minimum neighbors	10
Sector type	<input type="radio"/> 1 Sector
Angle	0
Major semiaxis	5462.903
Minor semiaxis	5462.903
<i>Anisotropy factor</i>	1
Predicted Value	
X	773335.4
Y	9228127
<i>Value</i>	4.623341
Weights (15 neighbors)	





UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

- 1,958 – 8,982
- 8,982 – 13,418
- 13,418 – 16,219
- 16,219 – 17,987
- 17,987 – 19,104
- 19,104 – 20,873
- 20,873 – 23,674
- 23,674 – 28,110
- 28,110 – 35,134
- 35,134 – 46,259

LEYENDA

- Límite de Yanacocha
- ~ Red Hidrográfica
- ☪ Lagunas
- Componentes

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia

Escala: 1:70,000



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCCHA

FierroTotal en el Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

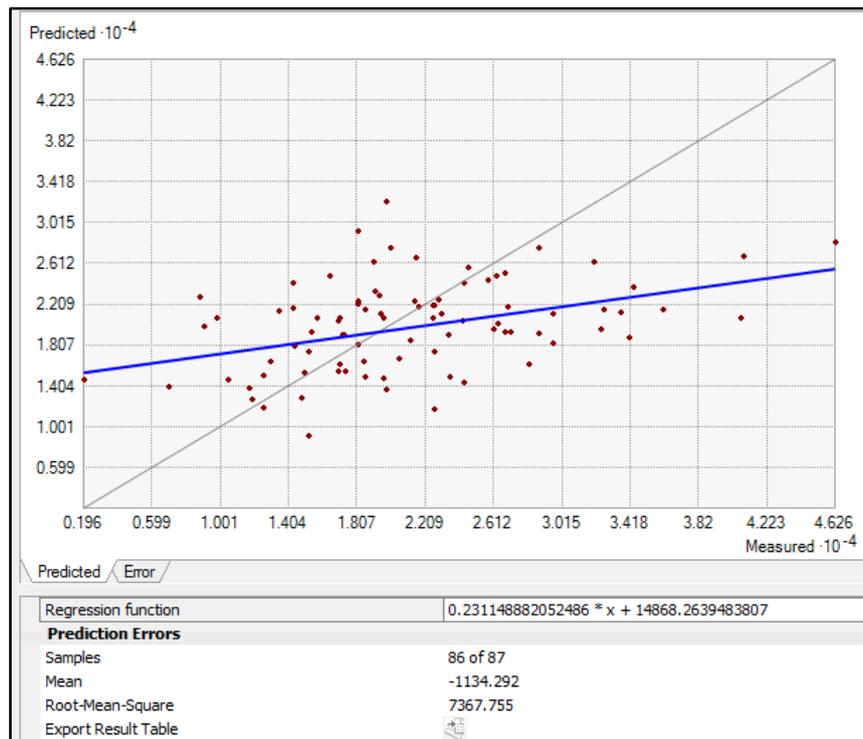
2019

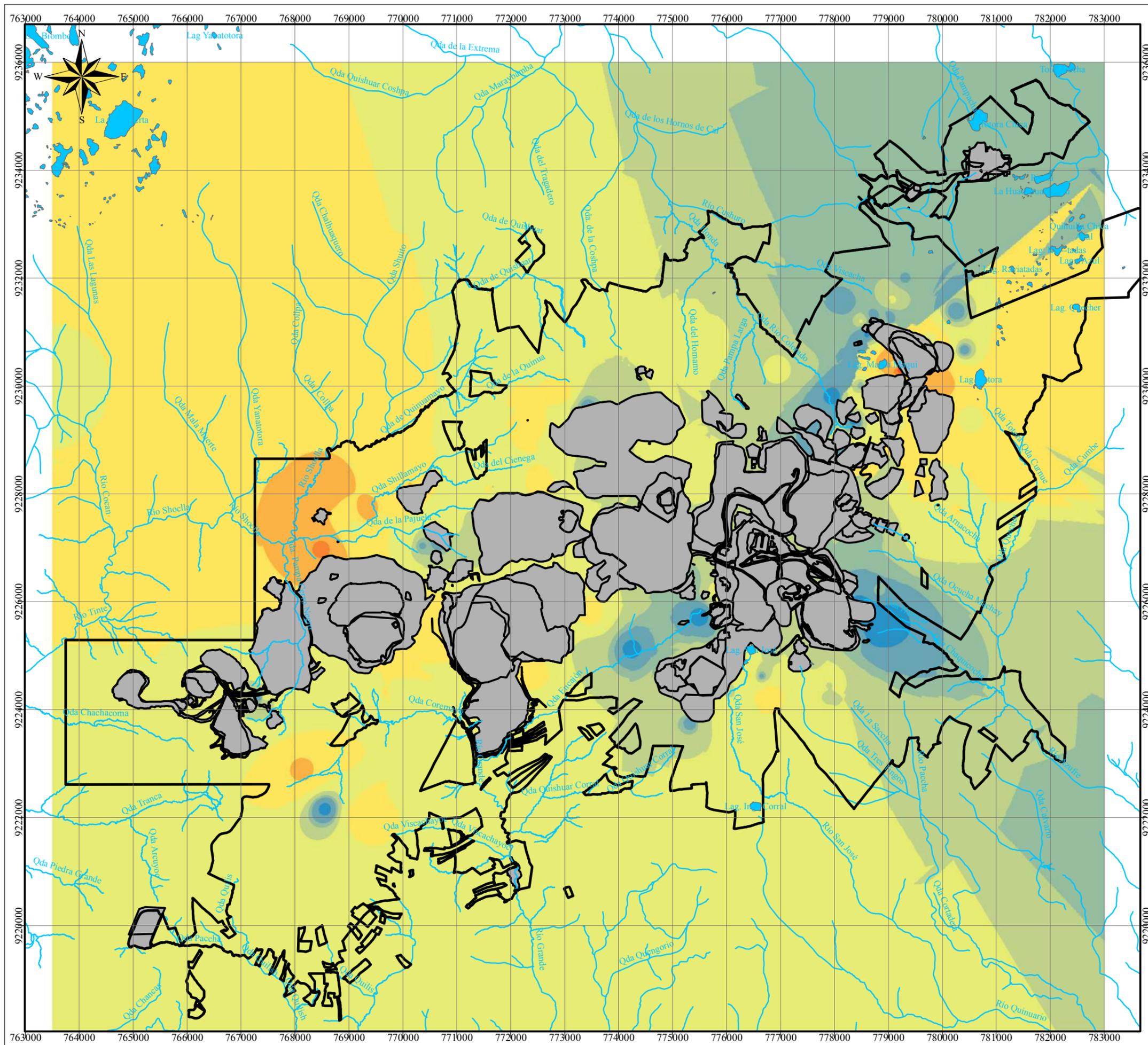
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera

5-7

Parámetros IDW para Fe total

General Properties	
Power	2
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Smooth
Smoothing factor	0.2
Angle	15
Major semiaxis	3000
Minor semiaxis	4000
<i>Anisotropy factor</i>	0.75
Predicted Value	
X	772066
Y	9227002
<i>Value</i>	21222.44
Weights (30 neighbors)	





UBICACIÓN DE LA VISTA



SIMBOLOGÍA

Al total (mg/kg)

- 81,95 – 7,975
- 7,975 – 12,055
- 12,055 – 14,165
- 14,165 – 18,245
- 18,245 – 26,140
- 26,140 – 41,400
- 41,400 – 70,920
- 70,920 – 128,010
- 128,010 – 238,425
- 238,425 – 451,967.2

LEYENDA

- Límite de Yanacocha
- ~ Red Hidrográfica
- ☪ Lagunas
- Componentes

Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia

Escala: 1:70,000



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

Aluminio Total en el Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.

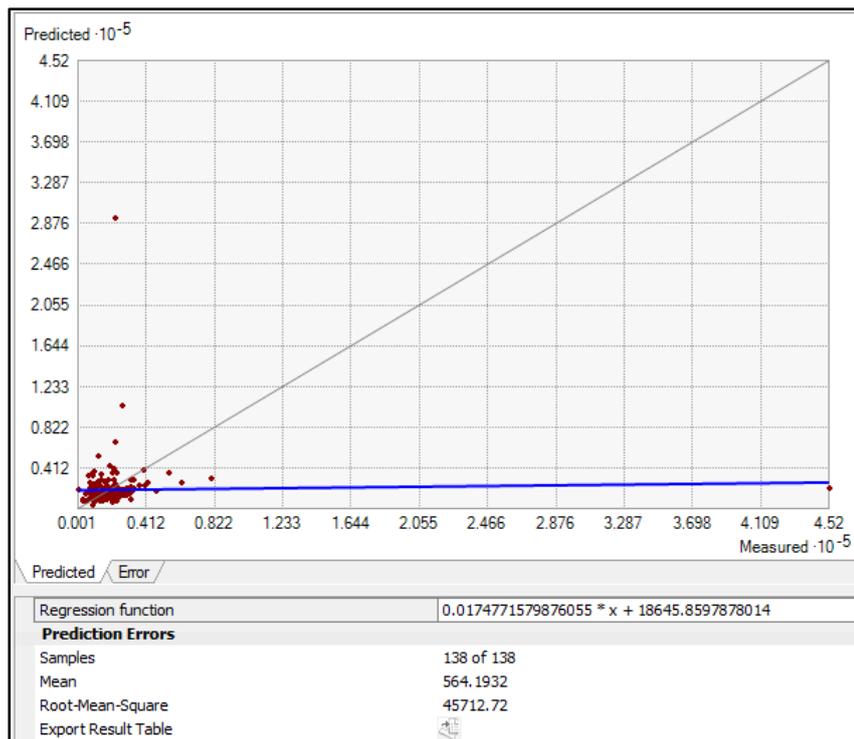
2019

Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera

5-8

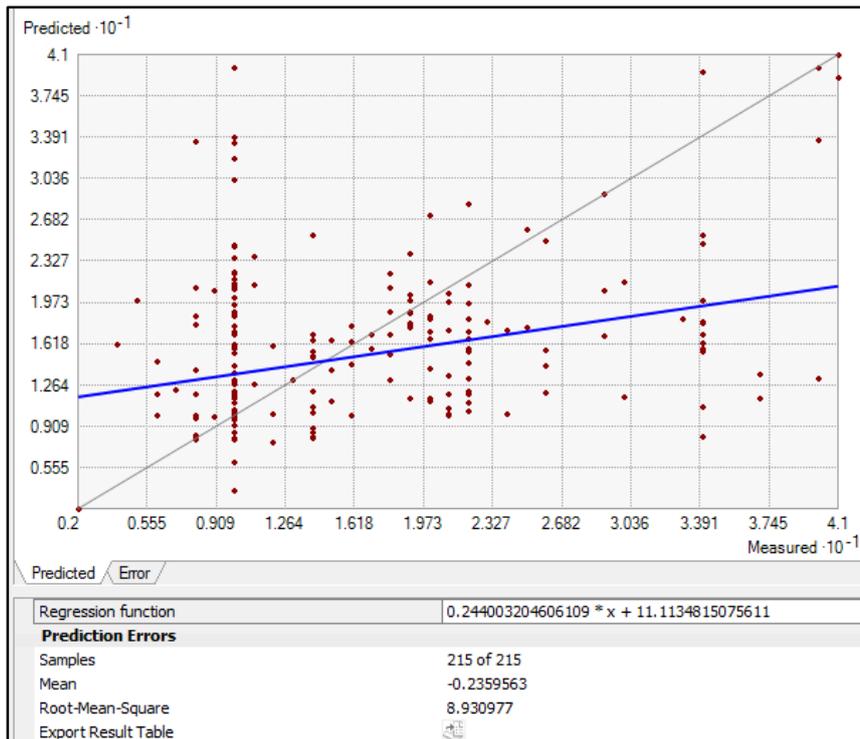
Parámetros IDW para AI total

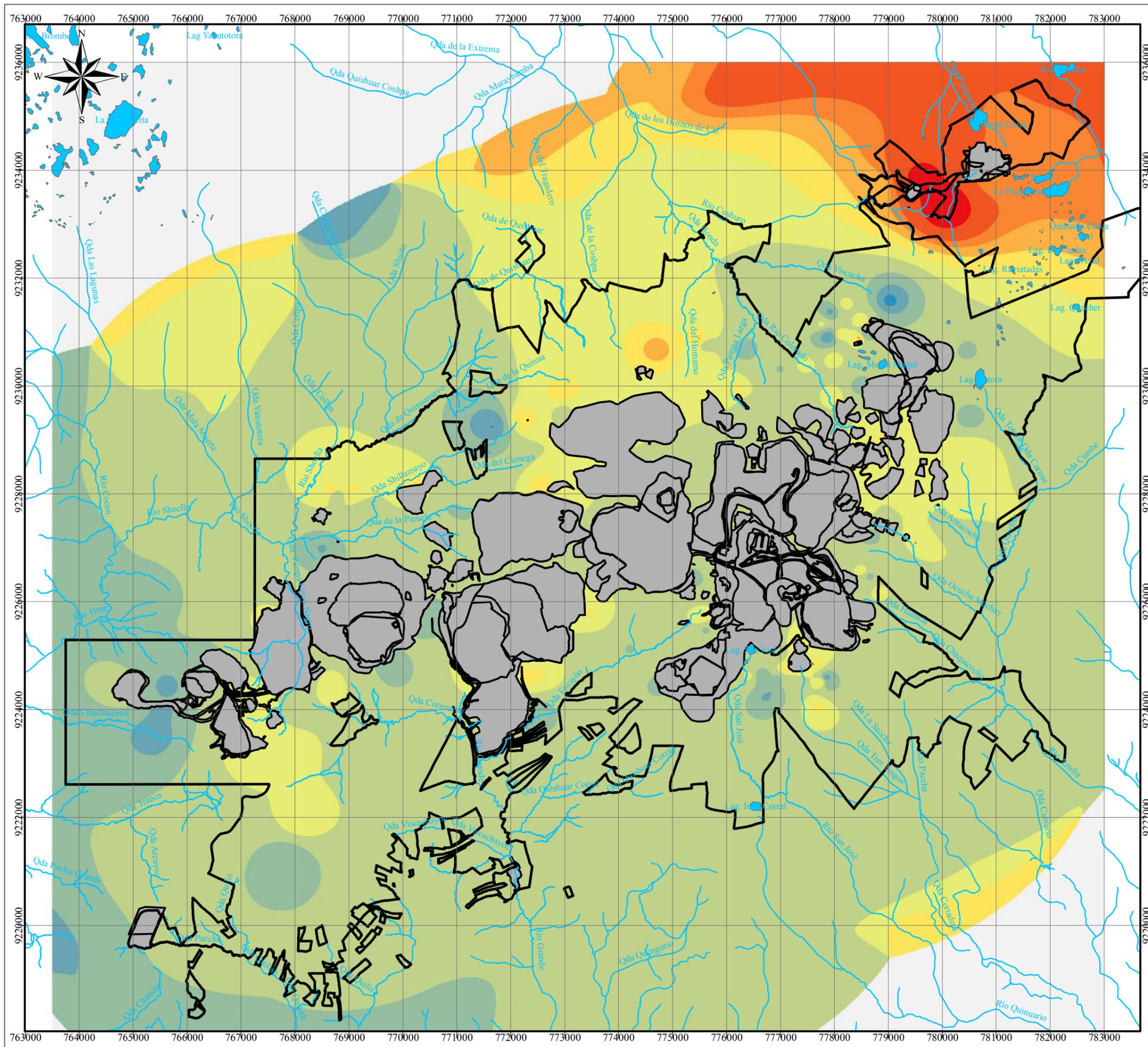
General Properties	
Power	2
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Standard
Maximum neighbors	15
Minimum neighbors	10
Sector type	1 Sector
Angle	0
Major semiaxis	4915.15
Minor semiaxis	4915.15
Anisotropy factor	1
Predicted Value	
X	772066
Y	9226927
Value	19358.28
Weights (15 neighbors)	



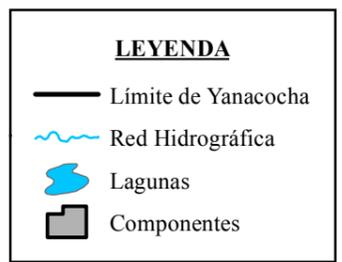
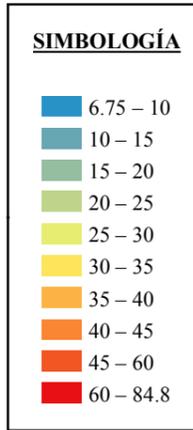
Parámetros IDW para Arcilla (%)

General Properties	
Power	3
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Smooth
Smoothing factor	0.2
Angle	0
Major semiaxis	6000
Minor semiaxis	5000
<i>Anisotropy factor</i>	1.2
Predicted Value	
X	772705.5
Y	9228127
<i>Value</i>	19.27911
+ Weights (131 neighbors)	



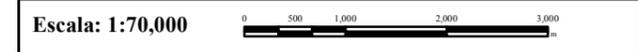


UBICACIÓN DE LA VISTA



Referencias

- Información temática e instalaciones: Minera Yanacocha S.R.L.
- Diseño: Jorge Hinostroza
- Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 17S
- Método: Inversa de la distancia



MAESTRÍA EN SUELOS

MODELAMIENTO DE ISOCONCENTRACIONES Y DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE FONDO PARA ARSÉNICO EN EL SUELO SUPERFICIAL NO INTERVENIDO DE YANACOCHA

Distribucion de la CIC en Suelo Superficial

Fuente: Minera Yanacocha S.R.L.	2019
Tesista: Jorge Eduardo Hinostroza Rivera	5-10

Parámetros IDW para CIC

General Properties	
Power	2
Search Neighborhood	
Neighborhood type	Smooth
Smoothing factor	0.2
Angle	0
Major semiaxis	4000
Minor semiaxis	4500
<i>Anisotropy factor</i>	0.8888889
Predicted Value	
X	773335.4
Y	9228127
<i>Value</i>	25.72219
+ Weights (58 neighbors)	

