

INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica
N° 78



Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénaga - La Libertad

Lima, Perú
2022



INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica
N° 78

Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénaga – La Libertad

Dirección de Recursos Minerales y Energéticos

Equipo de Investigación:

María del Carmen Manrique Gálvez
Alex Agurto Cornejo

Lima, Perú
2022

INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica
N° 78

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-02375

Nombre del autor(es). "Esta es una obra colectiva"

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)

Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú

Primera Edición, INGEMMET 2022

Se terminó de imprimir el 16 de marzo 2022 en los talleres del INGEMMET

Tiraje: 25

© INGEMMET

Presidente Ejecutivo: Luis Félix Mercado Pérez.

Gerente General: Luis Panizo Uriarte.

Comité Editor: Jorge Chira Fernández, Yorri Carrasco Pinares.

Dirección encargada del estudio

Dirección de Recursos Minerales y Energéticos: Jorge Chira Fernández.

Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Yorri Carrasco Pinares.

Revisión Técnica: Jorge Chira Fernández.

Revisor Externo: Luis Chirif Rivera.

Corrección gramatical y de estilo: Benjamín Caballero Pacheco.

Diagramación: Erick Rodríguez Zelada.

Fotografía de la carátula: Depósito principal de relaves La Ciénaga, vista mirando al oeste.

Referencia bibliográfica

Manrique, M. & Agurto, A. (2022) - Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénaga – La Libertad. *INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica*, 78, 143 p., 15 mapas.

Publicación disponible en libre acceso en el Repositorio Institucional del INGEMMET. La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (<https://repositorio.ingemmet.gob.pe>).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen, son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I	9
INTRODUCCIÓN	9
1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO	9
1.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	9
1.3 FISIOGRAFÍA.....	11
1.4 HIDROGRAFÍA	11
1.5 ANTECEDENTES	11
1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO	14
1.7 AGRADECIMIENTOS	15
CAPÍTULO II	17
MARCO GEOLÓGICO.....	17
2.1 ESTRATIGRAFÍA Y DOMINIOS LITOESTRATIGRÁFICOS.....	17
2.1.1 Neoproterozoico (NP)	17
2.1.2 Paleozoico	17
2.1.3 Mesozoico	19
2.1.4 Depósitos cuaternarios	19
2.1.5 Rocas intrusivas.....	19
2.2 GEOLOGÍA ECONÓMICA	21
2.2.1 Mineralización	21
CAPÍTULO III	23
CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES LA CIÉNAGA.....	23
3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	28
3.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE FRACCIONES.....	29
CAPÍTULO IV	31
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	31
4.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH).....	31
4.2 POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN (ORP)	31
4.3 PRESIÓN	32
4.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	33
4.5 TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS (TDS)	34
4.6 SALINIDAD	34
4.7 TEMPERATURA	34
4.8 RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	36
4.8.1 Correlación negativa: (pH - ORP)--.....	36
4.8.2 Correlación positiva: CE - TDS - Salinidad	38
4.8.3 Débil correlación negativa: [pH- (CE - TDS - Salinidad)]-.....	39
4.8.4 Débil correlación positiva: ORP - (CE - TDS - Salinidad).....	40
4.9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
CAPÍTULO V	41
GEOQUÍMICA DE RELAVES.....	41
5.1 GENERALIDADES.....	41

5.2 DISTRIBUCIÓN Y COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO GENERAL	45
5.2.1 Distribución geoquímica del oro (Au)	45
5.2.2 Distribución geoquímica del arsénico (As)	49
5.2.3 Distribución geoquímica del plomo (Pb)	53
5.2.4 Distribución geoquímica de elementos asociados a la mineralización (Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, S, Sb y Zn)	57
5.2.5 Distribución geoquímica consolidada	70
5.3 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RELAVES EN LA TRINCHERA LC-1 (FLANCO OESTE DEL DEPÓSITO I).....	81
5.4 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA EN BASE A SONDAJES "AUGER"	88
5.4.1 Resultados geoquímicos en el depósito I (sondajes LC-I-1, LC-I-2 y LC-I-3)	88
5.4.2 Resultados geoquímicos en el depósito II (Sondaje LC-II-1)	91
5.4.3 Resultados geoquímicos en el depósito III (sondaje LC-III-1)	92
5.4.4 Resultados geoquímicos en el depósito IV (Sondaje LC-IV-1)	93
5.4.5 Resultados geoquímicos en el depósito V (Sondaje LC-V-1)	94
5.5 REPRODUCIBILIDAD ANALÍTICA ENTRE MUESTREOS POR SONDAJES "AUGER" VS. TRINCHERA.....	95
5.5.1 Descripción de los resultados	96
5.5.2 Resultados	97
CAPÍTULO VI.....	101
GEOQUÍMICA DE AGUAS.....	101
6.1 GENERALIDADES.....	101
6.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	103
CAPÍTULO VII.....	105
GEOQUÍMICA DE SUELOS	105
7.1 GENERALIDADES.....	105
7.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.....	106
7.3 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.....	108
7.4 GEOQUÍMICA AMBIENTAL	114
CAPÍTULO VIII.....	117
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE RELAVES POR ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA	117
8.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO	117
8.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	117
8.3 RESULTADOS	122
CAPÍTULO IX.....	123
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE RELAVES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	123
9.1 GENERALIDADES.....	123
9.2 MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACIÓN.....	127
9.3 MINERALES DE GANGA DE VETAS Y/O ASOCIADOS AL ENTORNO GEOLÓGICO.....	127
9.4 MINERALES ASOCIADOS AL ENTORNO GEOLÓGICO	127
9.5 MINERALES DE SULFUROS PORTADORES DE Au.....	127
9.6 MINERALES INHIBIDORES DE AMBIENTES ÁCIDOS.....	127
9.7 CONTENIDO MINERALÓGICO DE RELAVES "INALTERADOS"	131
CONCLUSIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ANEXOS	137
RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES.....	139

RESUMEN

El estudio comprende la caracterización geoquímica y mineralógica de los relaves mineros La Ciénaga en base al procesamiento e interpretación de datos de campo, análisis geoquímicos, de difracción de rayos X y de espectrometría.

La Ciénaga está conformada por cinco depósitos de relaves que en conjunto constituyen aproximadamente 40 000 m³ de material producto de la actividad minera que realizara la Compañía Aurífera Marañón S.A entre 1993 y 1996. Actualmente estos depósitos están enmarcados dentro de las concesiones mineras de la compañía Minera Poderosa S.A.

El área forma parte del distrito minero aurífero Pataz – Parcoy, donde afloran vetas mesotermiales de cuarzo-carbonatos-sulfuros-oro, cuyo emplazamiento está controlado estructuralmente y que se emplazan en el batolito de Pataz, del Carbonífero.

Los trabajos de campo se desarrollaron del 09 al 20 de octubre 2019, recolectándose 166 muestras de relaves a través, de una trinchera y 10 sondajes con equipo portátil Auger; así como de lecturas espectrales sobre la superficie de los depósitos y muestreos referenciales en tres estaciones de suelos y aguas en los alrededores.

Al tacto, los relaves son finos y plásticos, equivalentes a arcillas limosas, por lo que la identificación de minerales en el campo es limitada. El análisis granulométrico indica que las fracciones < 10 µm (-400 mesh), comprenden del 37 % al 67 % del material de relaves reportando concentraciones en Au mayores en ~1.5 veces más respecto a la fracción "gruesa" (140-400 mesh).

Los parámetros fisicoquímicos caracterizan a los relaves La Ciénaga como materiales potenciales de oxidación, siendo menor este potencial para los relaves "inalterados" caracterizados por pH alcalinos, y mayor para los materiales "alterados" de superficie (hasta 1m de profundidad), cuyo pH es ácido. Asimismo, evidencian una mayor movilidad de elementos con presencia de sales y iones disueltos en superficie correspondiente al relave "alterado" alcanzando hasta 14 veces de sólidos totales disueltos (TDS), respecto a los materiales "inalterados en profundidad.

Los resultados geoquímicos reportan, para los cinco depósitos de relaves, concentraciones de oro ascendentes a 1.31 ± 0.27 ppm Au, variando entre 0.70 y 2.56 ppm Au; junto al As ($7,868 \pm 1,126$ ppm) y Pb (3373 ± 1115 ppm). Asimismo, éstos se encuentran asociados con la Ag (5.05 ± 3.42 ppm), Cd (57.82 ppm), Cu (131 ± 29 ppm), Fe (7.02 ± 0.93 %), Hg (alrededor de 1500 ppb), S (4.7 ± 1.2 %), Sb (30 ± 10 ppm) y Zn (1386 ± 588 ppm). En el caso del Hg, los datos son referenciales ya que únicamente proceden del flanco oeste del depósito I.

En el flanco oeste del depósito I, se definen cinco niveles geoquímicos, en función de la concentración de Au y elementos asociados. Consisten de un nivel superficial lixiviado con bajas concentraciones químicas que migraron y concentraron en un segundo nivel de enriquecimiento secundario, seguido de un tercer nivel de concentraciones ligeramente bajas, pasando a un cuarto nivel de concentraciones moderadamente altas para en profundidad, en un quinto nivel, presentar concentraciones altas y anómalas.

La reproducibilidad analítica del Au, comparada entre muestreos a partir de una trinchera versus muestreos a partir de sondajes "Auger", es <11 % RPD, para el 100 % de datos.

Mineralógicamente, los relaves "alterados" superficiales están compuestos por minerales secundarios consistentes en sulfatos, óxidos, hidróxidos y arcillas; predominando jarosita, esmectita e illita asociadas a hematita, goethita, yeso y limonita.

Estudios de difracción de rayos X indican que los minerales constituyentes de los relaves La Ciénaga fundamentalmente son cuarzo (48 %), pirita (9.3 %), yeso (8 %), moscovita (8.5 %), clinocloro (8.4 %), calcita (6.4%), albita (4.7 %), dolomita (4.4 %), ortoclasa (4.3 %), magnesiohornblenda (3.9 %) y arsenopirita (1.8 %) en orden de abundancia. La pirita y arsenopirita, considerados como los principales portadores de Au en estos relaves, en conjunto constituyen el 11 %. Otros minerales identificados son: plumbojarosita, jarosita, cuprita, illita, yeso, magnesio-ferrihornblenda y anortita.

ABSTRACT

The study deals with the geochemical and mineralogical characterization of La Ciénaga mining tailings based on the processing and interpretation of field data, geochemical analysis, X-ray diffraction analysis and spectrometric analysis.

La Ciénaga has five tailings deposits that constitute approximately 40 000 m³ of material product of the mining activity carried out by the Compañía Aurífera Marañón S.A from 1993 to 1996. Currently, these deposits belong to the company Minera Poderosa S.A.

The area is part of the Pataz - Parcoy gold mining district, where mesothermal veins of quartz-carbonates-sulfides-gold emerge, whose location is structurally controlled and which are located in the Pataz batholith of the Carboniferous.

The field works were developed from October 9 to 20, 2019, 166 samples of tailings were collected through a trench and 10 drill holes with portable Auger equipment, spectral readings were made on the surface of the deposits and three soil and water stations in the surroundings were sampled for reference.

The tailings are fine and plastic to the touch, equivalent to silty clays, so identification of minerals in the field is limited. The granulometric analysis indicates that the <10 µm (-400 mesh) fractions comprise from 37 % to 67 % of the tailings material and Au concentrations are reported ~ 1.5 times higher than the "coarse" fraction (140-400 mesh).

The physicochemical parameters characterize the La Ciénaga tailings as potential oxidation materials, this potential being lower for "undisturbed" tailings characterized by alkaline pH, and higher for "altered" surface materials (up to 1m deep), whose pH is acid. Likewise, they show a greater mobility of elements with the presence of sales and dissolved ions on the surface corresponding to the "altered" tailings, reaching up to 14 times the total dissolved solids (TDS), compared to the undisturbed materials in depth.

In the five tailings deposits, geochemical results of gold concentrations of 1.31 ± 0.27 ppm Au are reported, varying between 0.70 and 2.56 ppm Au; together with As (7.868 ± 1.126 ppm) and Pb (3373 ± 1115 ppm). Likewise, these are associated with Ag (5.05 ± 3.42 ppm), Cd (57.82 ppm), Cu (131 ± 29 ppm), Fe (7.02 ± 0.93 %), Hg (around 1500 ppb), S (4.7 ± 1.2 %), Sb (30 ± 10 ppm) and Zn (1386 ± 588 ppm). In the case of Hg, the data are referential since they only come from the west flank of deposit I.

On the west flank of deposit I, five geochemical levels are defined based on the concentration of Au and associated elements: The first level is superficial and leached with low chemical concentrations, the second level is the chemical concentration that migrated from the first level (enrichment secondary), the third level is of slightly low concentrations, the fourth level is of moderately high concentrations, and the fifth level (deep) has high and anomalous concentrations.

The analytical reproducibility of Au, compared between samples from a trench versus samples from "Auger" drill holes, is <11 % RPD, for 100 % data.

Mineralogically, "disturbed" surface tailings are composed of secondary minerals such as sulfates, oxides, hydroxides, and clays; where jarosite, smectite and illite predominate, associated with hematite, goethite, gypsum and limonite.

X-ray diffraction studies indicate that the constituent minerals of La Ciénaga tailings are mainly quartz (48 %), pyrite (9.3 %), gypsum (8 %), muscovite (8.5 %), clinoclhor (8.4 %), calcite (6.4 %), albite (4.7 %), dolomite (4.4 %), orthoclase (4.3 %), magnesium hornblende (3.9%) and arsenopyrite (1.8 %) in order of abundance. Pyrite and arsenopyrite are considered the main Au carriers in these tailings and together constitute 11 %. Other identified minerals are: plumbojarosite, jarosite, cuprite, illite, gypsum, magnesium-ferrihornblende and anorthite.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente informe comprende el estudio de los relaves mineros La Ciénaga, enfocado en la caracterización geoquímica y mineralógica de los mismos, producto de trabajos de campo desarrollados del 9 al 20 de octubre 2019 (12 días), que consistieron fundamentalmente en la recolección de muestras de relaves y medidas espectrales, así como en la recolección de algunas muestras referenciales de suelo y agua; y trabajos de gabinete con el procesamiento e interpretación de resultados analíticos.

La caracterización geoquímica ha sido desarrollada en base a análisis químicos y medidas de parámetros fisicoquímicos, y la caracterización mineralógica en base a las firmas espectrales de superficie y análisis por difracción de rayos X.

Estos trabajos han sido desarrollados bajo el marco de un Convenio Específico de Cooperación Técnica firmado entre el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet) y el Instituto Federal de Ciencias Geológicas y Recursos Naturales de la República Federal de Alemania (BGR). Este Convenio tiene como objetivo el intercambio de conocimiento técnico y científico entre el personal de BGR e Ingemmet con el fin de determinar su caracterización geoquímica y mineralógica, además de la generación de información útil que permita valorizar dichos relaves.

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

Caracterizar geoquímica y mineralógicamente los depósitos de relaves La Ciénaga, útil para una evaluación económica y ambiental, generando información que conlleve a la puesta en valor de los relaves mineros, así como la identificación de elementos que pudiesen ser nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

1.2 ÁREA DE ESTUDIO

Los relaves mineros La Ciénaga se ubican en el distrito y provincia de Pataz, departamento de La Libertad, al norte del Perú, a ~1 km al SE de la planta de beneficio Santa María de la Compañía Minera Poderosa (figura 1.1); la altitud promedio es de 2960 m s. n. m., con coordenada central 214 960E- 9 138 870N (WGS84-Z18).

Los relaves La Ciénaga están enmarcados en el área de amortiguamiento del Parque Nacional del río Abiseo.

La Ciénaga comprende cinco depósitos de relaves (figura 1.2), que en conjunto constituyen aproximadamente 40 000 m³ de material estimándose una masa de 90 000 TM; estos ocupan un área de 8000 m² aproximadamente (Morche, 2017).

El material que conforma los relaves en superficie está alterado, y se presenta con colores amarillo blanquecinos que cambian en profundidad a colores grises donde el material podría considerarse como "inalterado u original"; este material es fino, con granulometría general, al tacto, equivalente a arcillas limosas.

Estos relaves son producto del procesamiento mineral por oro realizados por la compañía Minera Aurífera Marañón S.A., cuyas instalaciones abandonadas se ubican al SE de los depósitos de relaves. Según la información de Walsh Perú (2017), esta planta de beneficio fue inaugurada en 1993, con una capacidad inicial de 100t/d, tratando el mineral aurífero por cianuración en un circuito de lavado a contra corriente, y se obtiene como producto final el lodo aurífero resultante de la precipitación con polvo de zinc, mediante el proceso de recuperación Merrill Crowe; esta planta paralizó sus operaciones en 1996. Los pobladores del lugar mencionan que la compañía procesaba el mineral de las vetas San Lorenzo y La Porfía.

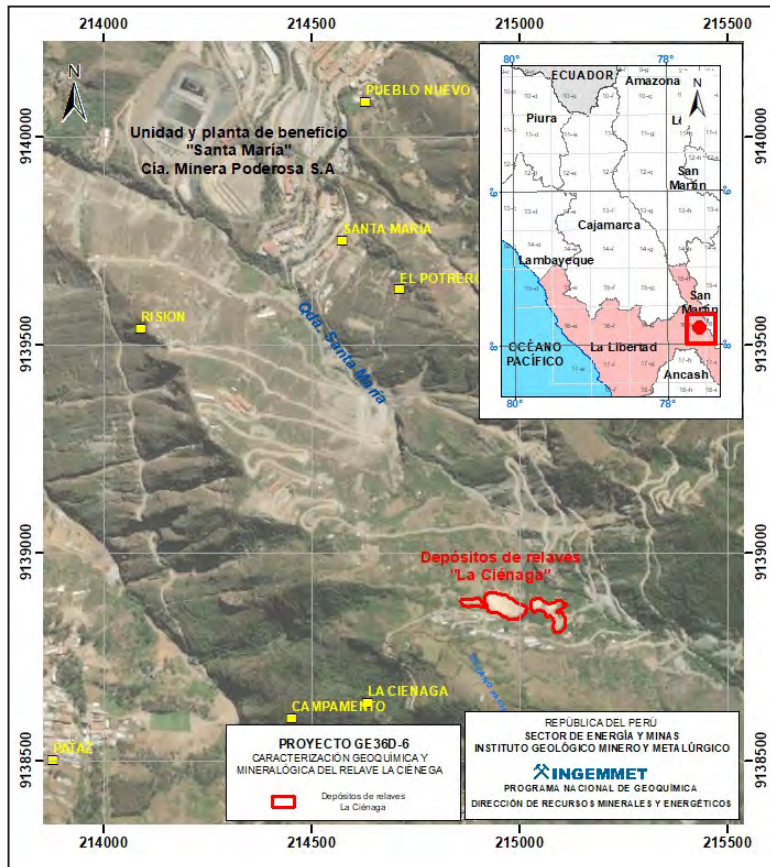


Figura 1.1 Ubicación de los relaves mineros La Ciénaga

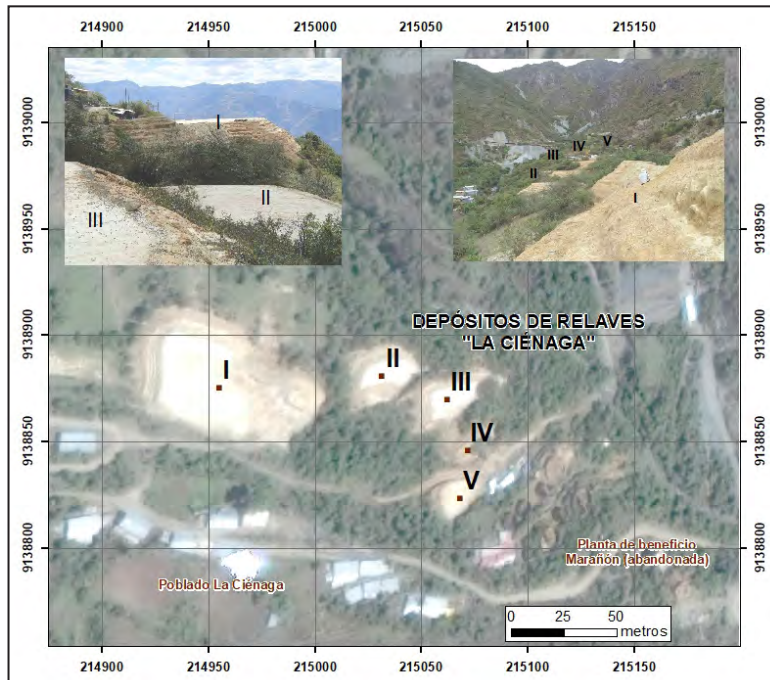


Figura 1.2 Ubicación de los depósitos de relaves La Ciénaga

Al momento de desarrollarse los trabajos de campo, en octubre de 2019, los depósitos de relaves se encontraron integrados al entorno, empleándose como rutas de tránsito cotidiano, así como áreas de esparcimiento deportivo y de reuniones por las tardes y fines de semana, en especial sobre el depósito principal "1"; en cuanto a lo agreste del terreno caracterizado por cerros empinados y pendientes pronunciadas, son escasas las superficies llanas donde podrían desarrollarse estas actividades.

Asimismo, se constató que en los alrededores de los relaves La Ciénaga, se desarrolla una intensa actividad minera a cargo de la compañía Minera Poderosa S.A. y paralelamente a cargo de mineros artesanales e informales.

1.3 FISIOGRAFÍA

Geográficamente se encuentra ubicada en la zona nororiental de la Cordillera de los Andes, emplazada en el Batolito de Pataz, en el margen derecho del río Marañón, el cual cuenta con los siguientes límites: al este con el departamento de San Martín, al oeste con la provincia de Sánchez Carrión, al norte con la provincia de Bolívar y al sur con la provincia de Pataz (Ramos, 2017).

Según Wilson (1964), el área de La Ciénaga fisiográficamente se ubica en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, entre valles interandinos, la zona presenta relieves accidentados con valles agudos y quebradas profundas que se han formado por la erosión glaciario-fluvial, las que están en proceso de estabilización.

Se pueden observar dos unidades geomorfológicas (figura 1.3):

- **Relieve montañoso en roca metamórfica:** Se encuentran conformadas por cadenas montañosas antiguas expuestas en la provincia de Pataz, presenta superficies moderadas a ligeramente abruptas producto de la litología base conformada por el Complejo Marañón e intrusivos paleozoicos (Villota, 2005; Wilson, 1964).
- **Vertiente coluvial de detritos:** Se pueden observar valles agudos y profundos que se han formado según el curso de las corrientes principales, los agentes modeladores principales de la zona son: la erosión glacial y fluvial (Coba, 2017).

El área de La Ciénaga se encuentra aproximadamente a 2900 m s. n. m., en una ladera de pendiente 20°. La zona se encuentra ubicada dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional del río Abiseo y presenta una diversificación de recursos naturales tanto en flora, fauna y minerales.

Presenta un clima cálido a templado, el cual varía por la altitud y los meses del año. Las precipitaciones ocurren durante los meses de enero, febrero y marzo, siendo en el flanco este donde se reciben abundantes lluvias, provenientes de la cuenca amazónica, por lo que se desarrolla una abundante vegetación hasta los 2500 m s. n. m.; a partir de esta altitud y bordeando las cumbres de la Cordillera en dirección oeste, se tiene un clima frío, por lo que la vegetación es menor. Llega en las zonas bajas hasta 35 °C, y en las zonas altas hasta 10 °C (Ramos, 2017).

1.4 HIDROGRAFÍA

Los relaves mineros La Ciénaga se encuentran ubicados en la zona noreste de la región hidrográfica de la vertiente del Atlántico (figura 1.4). Según el mapa de Unidades Hidrográficas del Perú emitida por el Ministerio de Agricultura (ANA – R.M. N° 033-2009-AG), se encuentra ubicada dentro de la cuenca Marañón (Walsh Perú, 2017).

A nivel local, el área de estudio se emplaza sobre la microcuenca Francés – Hualinga, en la margen izquierda de la quebrada Santa María; el drenaje es hacia el noroeste, principalmente al río Marañón para finalmente llegar al río Amazonas y desembocar al océano Atlántico; a nivel regional, forma parte de la intercuenca Alto Marañón V.

1.5 ANTECEDENTES

A partir de octubre 2019, el Ingemmet se integra al equipo de trabajo del proyecto de "Cooperación Regional para la Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los Países Andinos", MINSUS-BGR que se viene desarrollando desde 2016 conjuntamente con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) de las Naciones Unidas como contraparte regional. Los países participantes son Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú.

Las investigaciones de BGR han derivado en la generación de información transversal sobre La Ciénaga, que comprenden estudios del entorno social (Walsh Perú, 2017), de investigación económico-minera y ambiental (Morche, 2017), responsabilidad histórica y legal (Rodríguez, 2018), y un informe en versión preliminar para la remediación de los relaves en La Ciénaga presentada por Biener, E.; Sasse, T. & Konertz, K. (2018).

El primer propietario de las concesiones mineras del área fue la empresa Minera Pataz EPS, ella cedió sus concesiones a la Compañía Aurífera Marañón S.A y esta a su vez a la compañía Minera Poderosa S.A, actual titular.

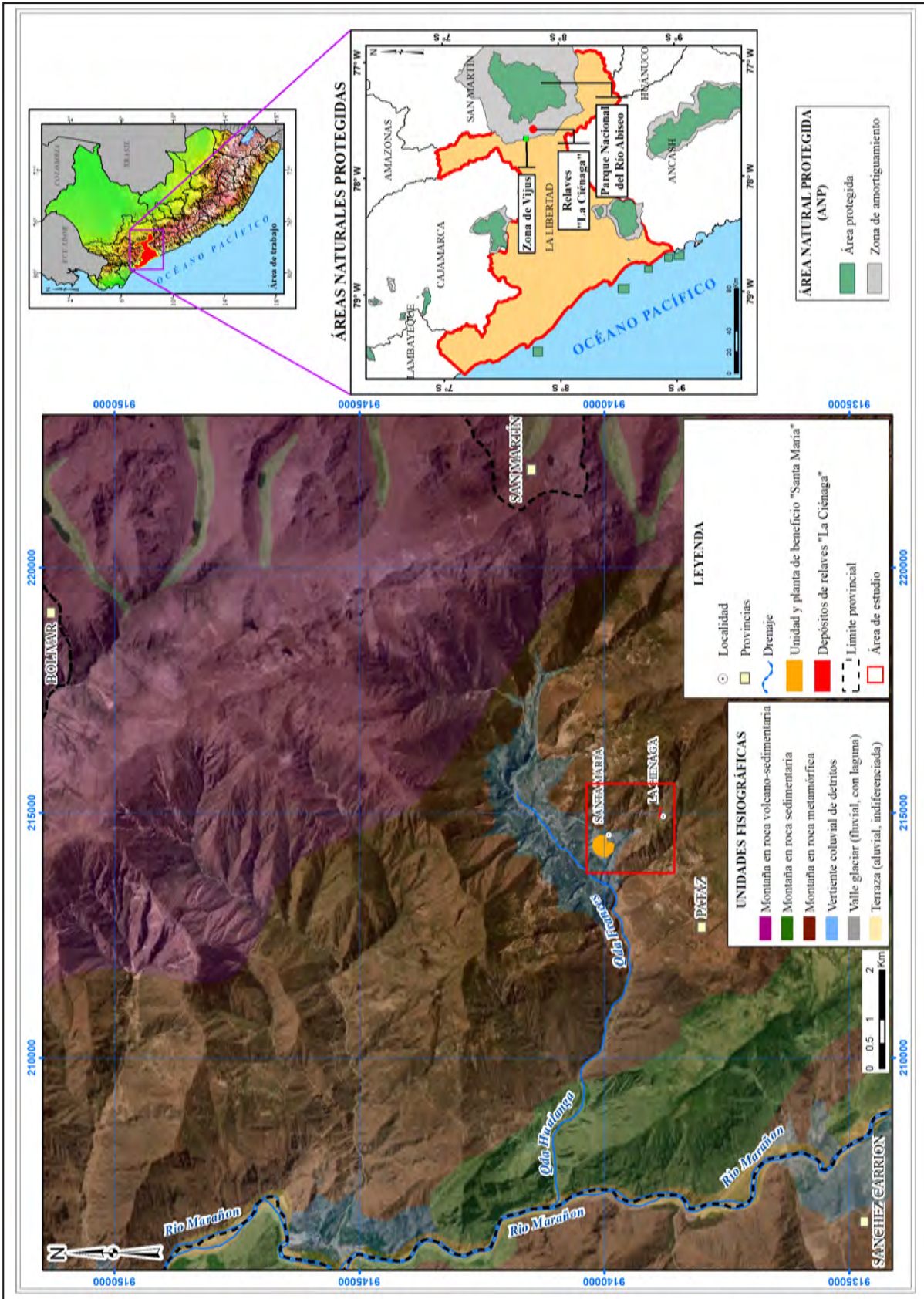


Figura 1.3 Mapa fisiográfico de los alrededores a los relaves mineros La Ciénaga

1.6 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los trabajos comprendieron de una etapa de campo consistente fundamentalmente en la recolección de muestras y toma de lecturas espectrales, para posteriormente, en una etapa de gabinete, efectuar los análisis, procesamiento e interpretación de datos y resultados.

La etapa de campo fue realizada entre el 9 y el 20 de octubre de 2019 (12 días) incluyendo traslados. Esta etapa fue planificada y dirigida por el Dr. Wolfgang Morche, como parte de BGR. En el lugar se contó con el apoyo de los pobladores, señores Mariano Cerín, Sergio Mendieta, Manuel Paz y Santos Curinga como asistentes de campo.

Consistió en la recolección de 166 muestras de relaves, a partir de la preparación de una trinchera en el flanco oeste del depósito de relaves I (fotografía 1.1), así como de 10 sondajes de corto alcance (hasta 4 m de profundidad), con equipo portátil Auger ubicados en los cinco depósitos de relaves (figura 1.5). Estas muestras fueron analizadas por 32 elementos (n: 166 muestras), oro (n:166 muestras), tierras raras (n:7 muestras), mercurio (n: 7 muestras), cianuro libre (n: 7 muestras) y cianuro total (n:7 muestras), en los laboratorios de AGQ Perú Labs. Adicionalmente, se empleó como laboratorio secundario al Ingemmet, donde se realizaron análisis químicos para 166 muestras por Au y para 10 muestras por multielementos (32 elementos), tierras raras y mercurio.

Para el depósito I, las muestras proceden de una trinchera (LC-I), que va desde superficie hasta la base del depósito totalizando 8.61 m de corte, y de 3 sondajes con el registro parcial en la vertical, por limitación del equipo Auger, ubicados en el sector oeste (sondaje LC-I-1: 4 m), sector central (sondaje LC-I-2: 4 m) y sector este (sondaje LC-I-3: 3.75 m).

En el caso de los depósitos de relaves II, III, IV y V, se perforó un sondaje en la parte central de cada depósito (figura 1.5). En el depósito II, la información está colgada a los 4 m, estimándose una profundidad total de 5 m para el depósito. En los depósitos III, IV y V, se logró el registro vertical completo alcanzándose en estos la base de los depósitos con el equipo de perforación Auger.

Tres de los 10 sondajes se realizaron paralelos a la trinchera LC-I, en tres niveles, a fin de evaluar la representatividad de muestreo mediante equipo de perforación Auger así como la variabilidad lateral del material de relaves. La ubicación de estos sondajes se muestra en la figura 1.5

Asimismo, sobre la superficie de los cinco depósitos de relaves se tomaron 243 lecturas espectrales en 140 estaciones, empleando un espectrorradiómetro FieldSpec 4 Hi-Res.

Finalmente, para obtener datos referenciales del entorno, se tomaron muestras de agua en tres estaciones y seis muestras de suelos en tres estaciones. Las muestras de aguas fueron recolectadas en la quebrada Santa María, adyacente por el este a los relaves La Ciénaga y fueron enviadas para análisis químicos por aniones, metales disueltos y metales totales a los laboratorios del Ingemmet. Las muestras de suelos se ubicaron al norte y a cotas inferiores de los depósitos de relaves, y los análisis químicos estuvieron a cargo de los laboratorios de AGQ Perú Labs., comprendiendo un análisis multielemental por 32 elementos, Au, cianuro libre y cianuro total.

La distribución espacial de las lecturas espectrales tomadas sobre el depósito I, así como la ubicación de las muestras de aguas y suelos, son mostradas en la figura 1.5.

Los trabajos de gabinete comprendieron del procesamiento e interpretación de resultados analíticos (química de relaves, suelos y agua) y de firmas espectrales, preparación, lectura e interpretación de mediciones de parámetros fisicoquímicos para 166 muestras de relaves, interpretación de 69 resultados analíticos de mineralogía por difracción de rayos "X", interpretación de análisis granulométrico de 4 muestras de relaves y preparación del presente informe técnico.

Las características de los relaves mineros La Ciénaga, que incluye los datos tomados en el campo a partir de la apertura de la trinchera LC-I, en el flanco oeste del depósito principal, así como los resultados del análisis granulométrico para cuatro muestras representativas de la misma trinchera, son presentadas en el capítulo III del presente informe.

La caracterización geoquímica de relaves, en base a ensayos químicos, es presentada como capítulo IV y la geoquímica de suelos y agua, como capítulos V y VI, respectivamente.

Los controles de calidad a los resultados químicos de los laboratorios de AGQ Labs Perú y de Ingemmet se presentan como anexos 5 y 6.

La caracterización mineralógica ha sido desarrollada en base al análisis de firmas espectrales y de difracción de rayos X, presentándose los resultados como capítulos VII y VIII respectivamente.



Fotografía 1.1 Vista mirando al este. Apertura de trinchera en depósito "I" (fotografía tomada por Dr. W. Morche)

1.7 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Federal de Ciencias Geológicas y Recursos Naturales de la República Federal de Alemania (BGR), en las figuras de los señores Achim Constantin (director del programa MINSUS/BGR) y Wolfgang Morche (consultor), así como de la señora Carla Rodríguez (coordinadora de proyectos - BGR), quienes compartieron toda la experiencia que vienen adquiriendo en el estudio de relaves mineros, y que contribuyen al conocimiento de los mismos bajo visiones económicas y ambientales.

Al Directorio y Dirección de Recursos Minerales y Energéticos del Ingemmet, por propiciar y fomentar la presente investigación, y por haber brindado las facilidades para la elaboración del trabajo.

A Laura Makowka, geóloga practicante por parte de BGR, quien apoyó con el control de calidad de resultados químicos de relaves y análisis de resultados.

A Jean Pool Paz, geólogo practicante por parte de Ingemmet, quien colaboró con la medición de parámetros fisicoquímicos de relaves, así como en la elaboración de mapas de resultados de análisis minerales por difracción de rayos "X".

A Carlos Fernández, geólogo practicante por parte de Ingemmet, quien participó en la preparación y desarrollo de los trabajos de campo, así como asistiendo en la toma de firmas espectrales.

Al ingeniero César De La Cruz, quien contribuyó con la revisión y formulación de recomendaciones al presente informe.

Al bachiller David Castañeda, quien contribuyó con el desarrollo del capítulo correspondiente al Marco Geológico.

Al ingeniero Igor Espinoza, quien apoyó en la primera etapa de mediciones de parámetros fisicoquímicos de relaves.

A la Dirección de Laboratorios (DL) del Ingemmet, quien tuvo a su cargo los análisis mineralógicos de difracción de rayos X, tamizado y análisis granulométrico, apoyando con su conocimiento y recomendaciones en la figura del Ing. Miguel Chumbe; así mismo, realizaron las lecturas e identificación de minerales de firmas espectrales en la figura de la Ing. Flor Rodríguez, quien participó en los trabajos de campo y gabinete. La DL también tuvo a su cargo los análisis químicos de relaves actuando como laboratorio secundario.

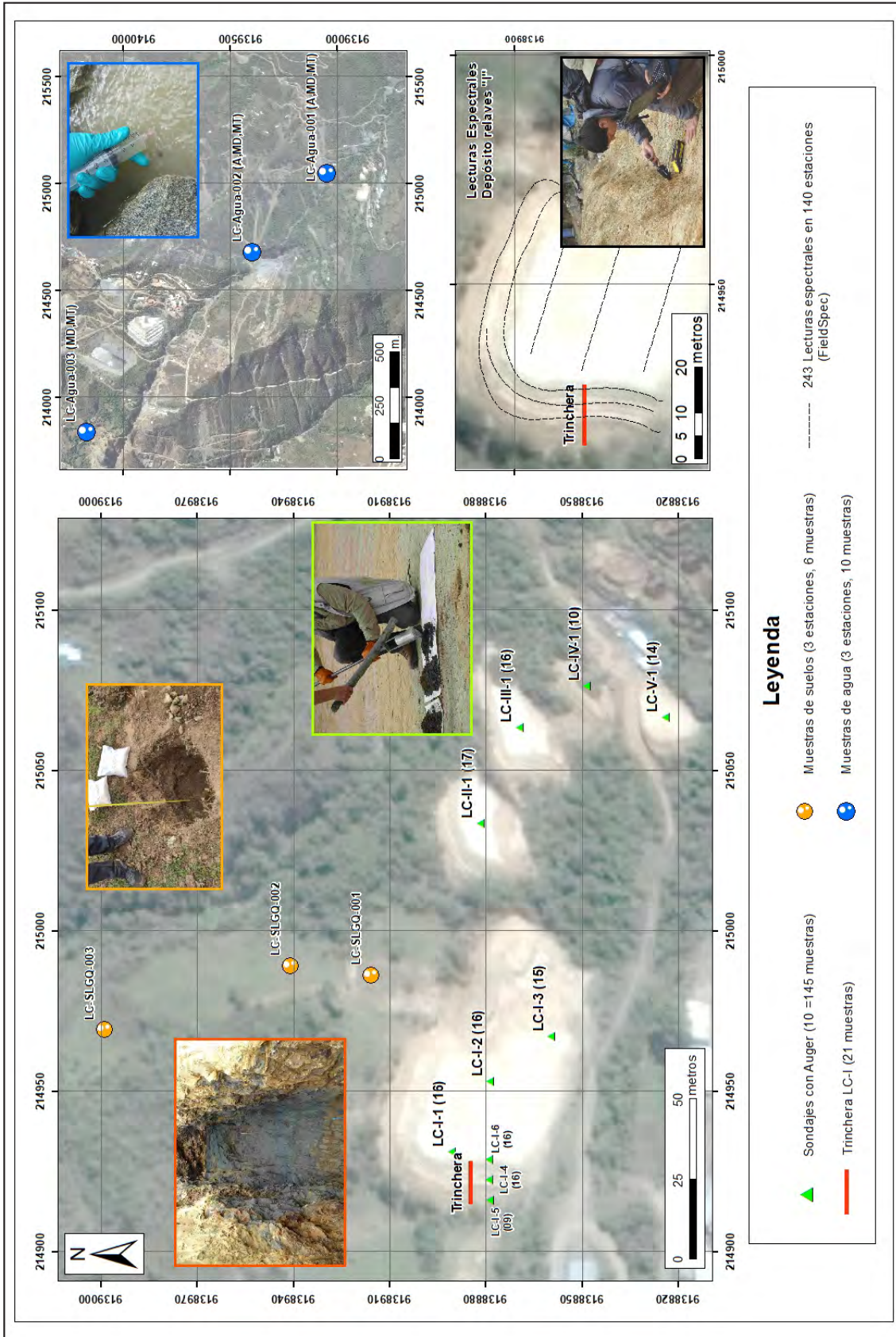


Figura 1.5 Mapa de distribución de trabajos y recolección de muestras

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO

Regionalmente, el área de estudio está enmarcada en ambientes geológicos de rocas antiguas comprendidas por un basamento Neoproterozoico correspondiente al Complejo Maraón, el que es cubierto discordantemente por secuencias volcánicas sedimentarias depositadas del Cámbrico al Ordovícico (Voute et al., 2019); ambas unidades están cortadas por rocas intrusivas de edad Carbonífera que conforman el Batolito de Pataz y esta a su vez cubierta hacia el este por ignimbritas de la Formación Lavasen de edad Carbonífero superior. En el sector occidental del área de estudio, se emplazan secuencias mesozoicas siguiendo la orientación andina noroeste – sureste, a manera de una “ventana” dentro de rocas antiguas.

Los relaves La Ciénaga constituyen el producto del tratamiento de minerales procedentes de vetas auríferas que forman parte del distrito minero aurífero conocido como Pataz – Parcoy, que se extiende longitudinalmente por 50 km (desde Paraíso por el noroeste hasta Buldibuyo por el sureste), a lo largo de la falla de la Cordillera Blanca, de orientación andina y que divide la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental. Este distrito esencialmente consiste de un terreno de “riff” y graben sobrepuesto en una secuencia de margen continental (Voute et al., 2019).

La actividad minera del distrito de Pataz-Parcoy se desarrolla principalmente en las vetas mesotermiales de cuarzo-carbonatos-sulfuros-oro, emplazadas en el Batolito de Pataz con leyes de mineralización que varían entre 7 y 15 g/t Au, que pueden alcanzar localmente hasta 120 g/t Au (Vouté et al., 2019).

2.1 ESTRATIGRAFÍA Y DOMINIOS LITOESTRATIGRÁFICOS

En base al mapa geológico del cuadrángulo de Pataz, a escala 1:100 000, revisión integrada en el 2017 (figura 2.2), elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, las rocas Paleozoicas que sobreyacen al Complejo Maraón son definidas como las Formaciones Macno, Tres Lagunas, Lavasén y Grupo Copacabana. Las secuencias Mesozoicas, al este del área de estudio del Triásico – Jurásico, están representadas por el Grupo

Mitu, y las formaciones Chambará, Aramachay, Condorsinga así como por rocas Cretácicas del Grupo Goyllarisquizga, y las formaciones Chúlec, Pariatambo, Pulluicana y Chota.

El Batolito de Pataz, emplazado durante el Paleozoico, comprende cuerpos de composición granodiorítica, tonalítica y monzogranítica. Finalmente, rellenando las quebradas de los ríos, se encuentran depósitos Cuaternarios aluviales.

2.1.1 Neoproterozoico (NP)

Complejo del Maraón (NP_cm)

Consiste de una secuencia de rocas metamórficas que afloran en la zona noroeste del área de estudio, en la parte baja de la quebrada El Tingo. Su litología la constituyen esquistos micáceos y cloríticos, filitas y cuarcitas (Wilson et al., 1995; Wilson & Reyes, 1964; Sánchez, 1995).

2.1.2 Paleozoico

Formación Macno (CAO-ma)

Wilson y Reyes (1964) definen a la serie metamórfica que aflora en los márgenes del valle del Maraón como el “Complejo Metamórfico del Maraón”. Sin embargo, en la geología actualizada del Ingemmet, es definida como Formación Macno que está conformada por esquistos verdosos situados en la base y en su parte media por pizarras y filitas grises.

Formación Tres Lagunas (DsCm-tl)

Estas secuencias estuvieron cartografiadas como Complejo Maraón y/o Formación Lavasén según Wilson y Reyes (1964), asignándoseles actualmente a la Formación Tres Lagunas conformada por lavas almohadilladas afáníticas de composición basáltica y meta – sedimentarios de color oscuro.

Formación Lavasén (Cm-l)

Sánchez (1995) realiza el cartografiado y redefine las relaciones estratigráficas y cronoestratigráficas de esta unidad asignándole una edad que comprende fines del Carbonífero inferior pudiendo alcanzar al Pérmico inferior.

Litológicamente está conformado por depósitos piroclásticos de tobas dacíticas a riolíticas y, en menor proporción, brechas y tobas andesíticas; presentan un grosor aproximado de 1 500 metros y buzamientos entre 20° y 30° al E-NE.

Grupo Copacabana (PEC-c)

Conformada por calizas grisáceas, intercaladas con lutitas de color negro, areniscas y limolitas de color gris verduzco muy compactas y fracturadas (Wilson & Reyes, 1964); en el área de estudio aflora en la parte inferior izquierda.

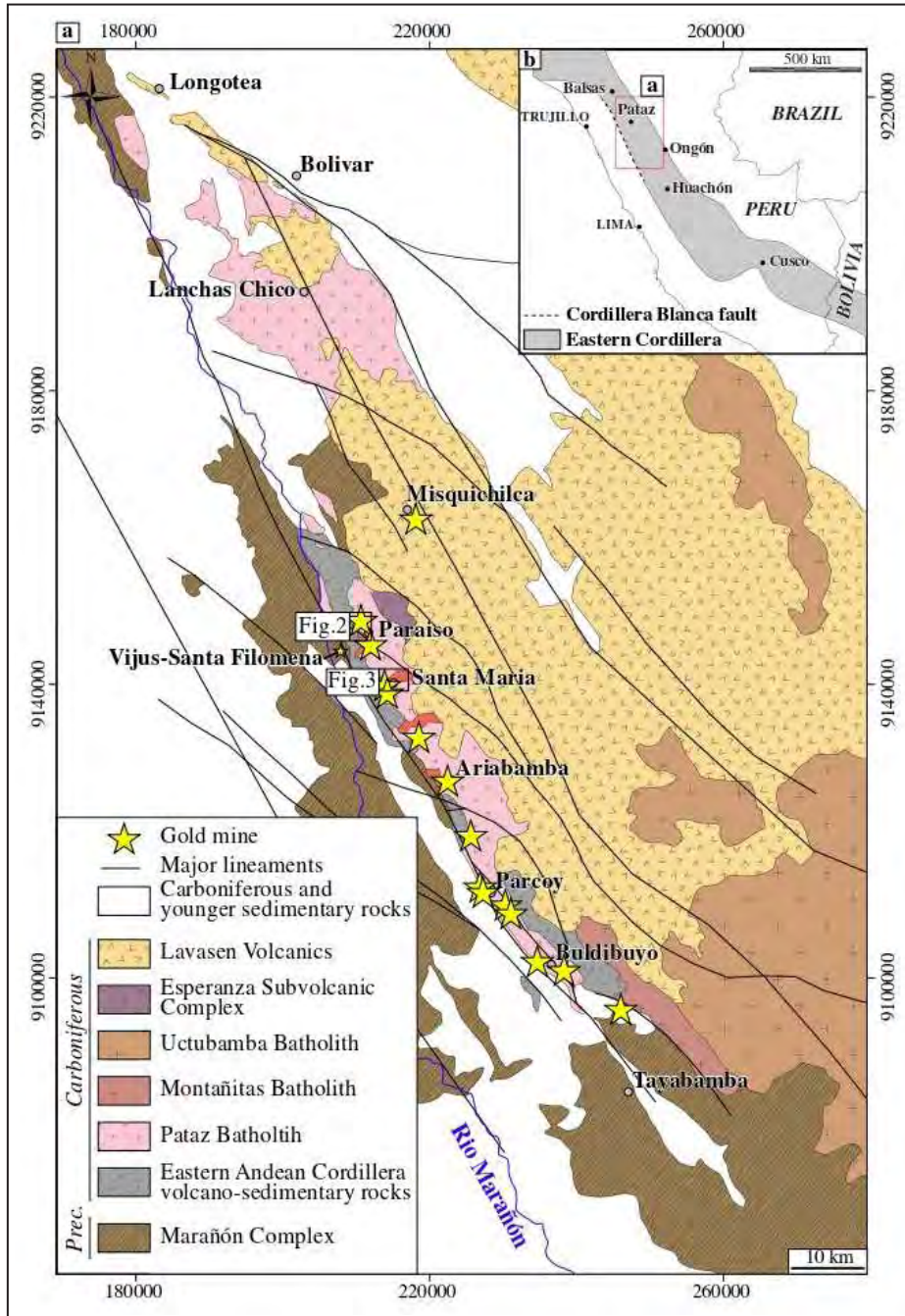


Figura 2.1 Marco Geológico Regional (Tomado de Voute et al., 2019)

2.1.3 Mesozoico

Grupo Pucará (Ts Ji-P)

Aflora en la margen derecha del río Marañón; está formado por calizas gris-negras bituminosas bien estratificadas en capas delgadas en algunos sectores y en forma de bancos gruesos (Wilson et al., 1995). En la zona de estudio se ubica entre las localidades de Vijos y Chagual.

Grupo Goyllarisquiza (Ki-g)

Comprende la intercalación de areniscas finas, areniscas, limo arcillitas grises y algunas calizas (Wilson & Reyes, 1964). Una de las formaciones más importantes de este grupo es la Formación Chimú, la que es considerada como un metalotecto que alberga depósitos epitermales con mineralización de oro diseminada en las areniscas y cuarcitas. En la zona de estudio afloran en la margen derecha del valle del río Marañón.

Formaciones Chulec y Pariatambo (Ki-chu, pt)

Litológicamente estas dos formaciones están conformadas por una secuencia alternada de margas y calizas nodulares que se repiten en ambas formaciones; también se observa calizas y lutitas bituminosas fértidas (Wilson & Reyes, 1964; Sánchez, 1995).

Grupo Pullucana (Ks-p)

Secuencia calcárea, constituida principalmente por calizas micríticas y calizas margosas esparíticas de color gris, se depositó de forma concordante a las calizas lutáceas y nodulares.

Formación Chota (KsP-cho)

Esta formación está constituida por sedimentos de cobertura de ambiente continental, compuesta de conglomerados, areniscas e intercalación de lutitas de color rojo intenso (Reyes, 1980).

2.1.4 Depósitos cuaternarios

Depósito aluvial (Qh-al)

Son depósitos cuaternarios que se encuentran en los costados de la llanura de inundación o del lecho principal de un río o quebrada. En la zona de estudio, se encuentra en las márgenes del río Marañón y en las quebradas de Yalen, Hualanga y Cahurabamba.

2.1.5 Rocas intrusivas

Comprende el Batolito de Pataz que aflora con un lineamiento NO-SE, a lo largo de 160 km, con anchos entre 1 y 3 km. Intruye al complejo Marañón y las secuencias volcano sedimentarias, y hospeda abundantes vetas de Au.

Este complejo ígneo tiene como litología principal a granodioritas de color grisáceo de grano mediano a grueso con cristales de hornblenda, plagioclasas y cuarzo; asimismo, comprende monzogranitos (adamelitas), diques aplíticos y pegmatíticos que corresponden a la serie ácida, así como tonalitas, dioritas (dioritas hornbléndicas a hornblenditas) y microdioritas que corresponden a una serie intermedia - básica (Haerberlin et al., 2000).

El análisis geoquímico realizado por Gómez et al. (2013) concluye que los granitoides del Batolito de Pataz tienen composición metalumínica y peralumínica; por su parte Witt et al. (2016) menciona que la variación química es atribuida a la diferenciación de un fundido con la composición relativamente básica. Se mencionan edades de ± 321 Ma, datada en biotita por el método $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ y de 305 Ma en hornblenda (Schreiber et al., 1990), que corresponderían a edades de emplazamiento del Batolito de Pataz pertenecientes al Carbonífero medio - superior.

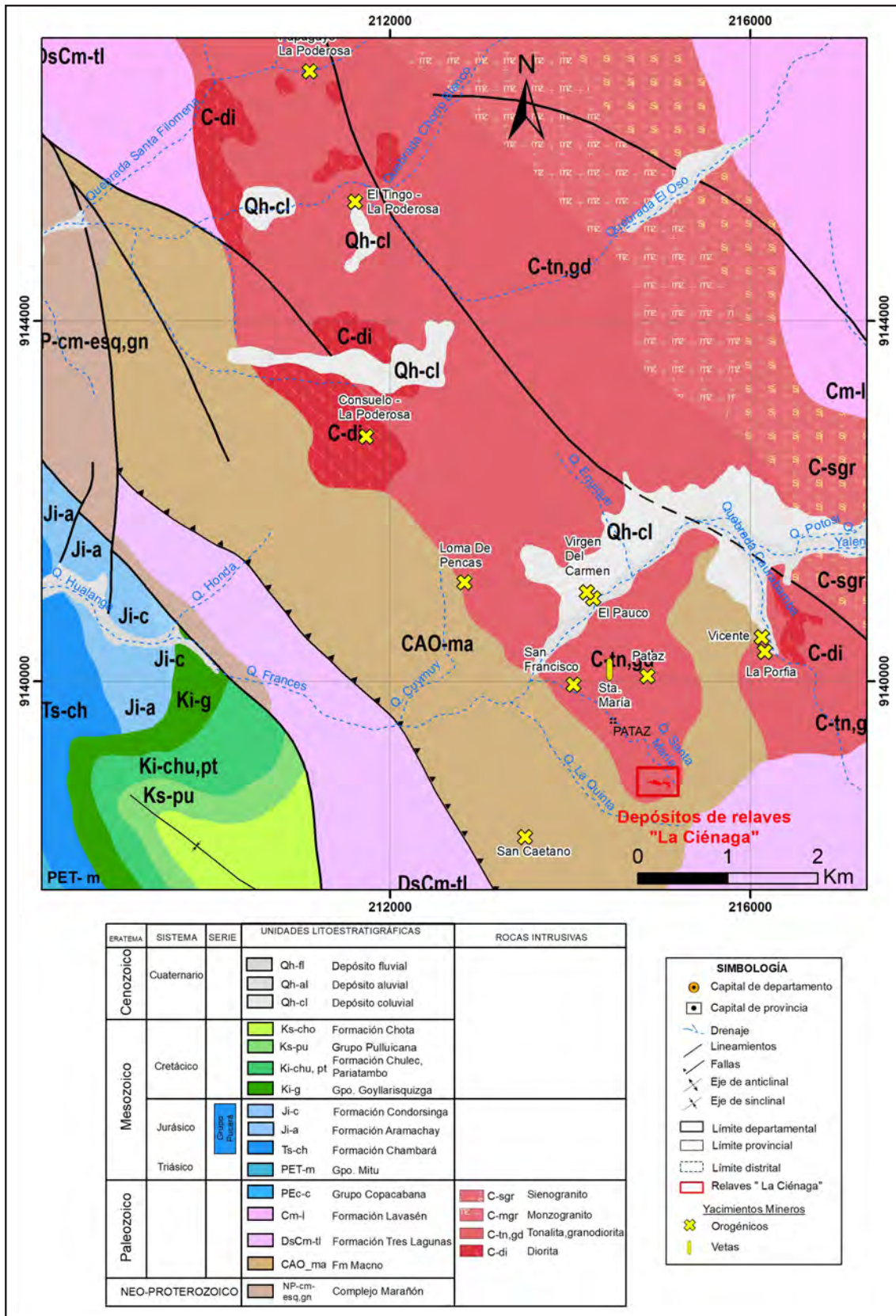


Figura 2.2 Mapa geológico preparado en base a la geología del Cuadrángulo de Patate (16h) a escala 1:100 000 – Revisión integrada Ingemmet (2017)

2.2 GEOLOGÍA ECONÓMICA

El distrito minero aurífero de Pataz – Parcoy incluye importantes depósitos minerales, donde destacan los yacimientos de El Gigante de la Compañía Aurífera Retamas S.A (Marsa), Parcoy operado por la empresa Consorcio Minero Horizonte y Poderosa de la Cía. Minera Poderosa S.A. El total de la producción aurífera en este distrito alcanzaría aproximadamente los 8 Moz, con leyes de minado entre 7 y 15 g/t Au.

Los relaves mineros La Ciénaga actualmente se encuentran dentro de las propiedades mineras de Cía. Minera Poderosa S.A, la cual viene operando en el área desde la década de 1980.

2.2.1 Mineralización

La mineralización aurífera está dada en vetas de cuarzo que presentan un fuerte control estructural N-NO, a nivel regional, distrital y local; el mismo que habría controlado el emplazamiento del Batolito de Pataz y habría servido de conducto para los fluidos hidrotermales mineralizantes (Villanes, 2006).

Las vetas de cuarzo-oro están albergadas en el Batolito de Pataz, pasando localmente a la serie de rocas metamórficas del basamento. Las vetas son de pocos decímetros a uno o dos metros de ancho. Sus extensiones verticales van de

decenas hasta cientos de metros, llegando ocasionalmente hasta dos kilómetros (Schreiber et al., 1990). Las granodioritas o dioritas que hospedan las vetas presentan rellenos bandeados o masivos ricos en sulfuros, así como cuarzo parcialmente brechado.

La mineralización del distrito comprende una paragénesis compleja que incluye pirita, arsenopirita, galena, esfalerita, calcopirita y oro, el cual se presenta mayormente como electrum en equilibrio con sulfuros de metales base rellenando las fracturas de la pirita y la arsenopirita (Voute et al., 2019). La edad de mineralización se habría dado entre los 312 y 314 Ma (Haerberlin et al., 2000).

Voute et al. (2019), en base al estudio de 41 muestras procedentes de las áreas de Santa María y Paraíso, la primera en los alrededores de los relaves La Ciénaga, propone tres fases paragenéticas de mineralización (figura 2.3), consistentes en:

- Pirita I (pyI) con inclusiones de sulfuros de metales base.
- Reemplazamiento progresivo de PyI por pirita arsenical (PyII) y arsenopirita asociada a oro invisible.
- Deposición de esfalerita-galena ± calcopirita ± electrum en fracturas de pirita y arsenopirita.

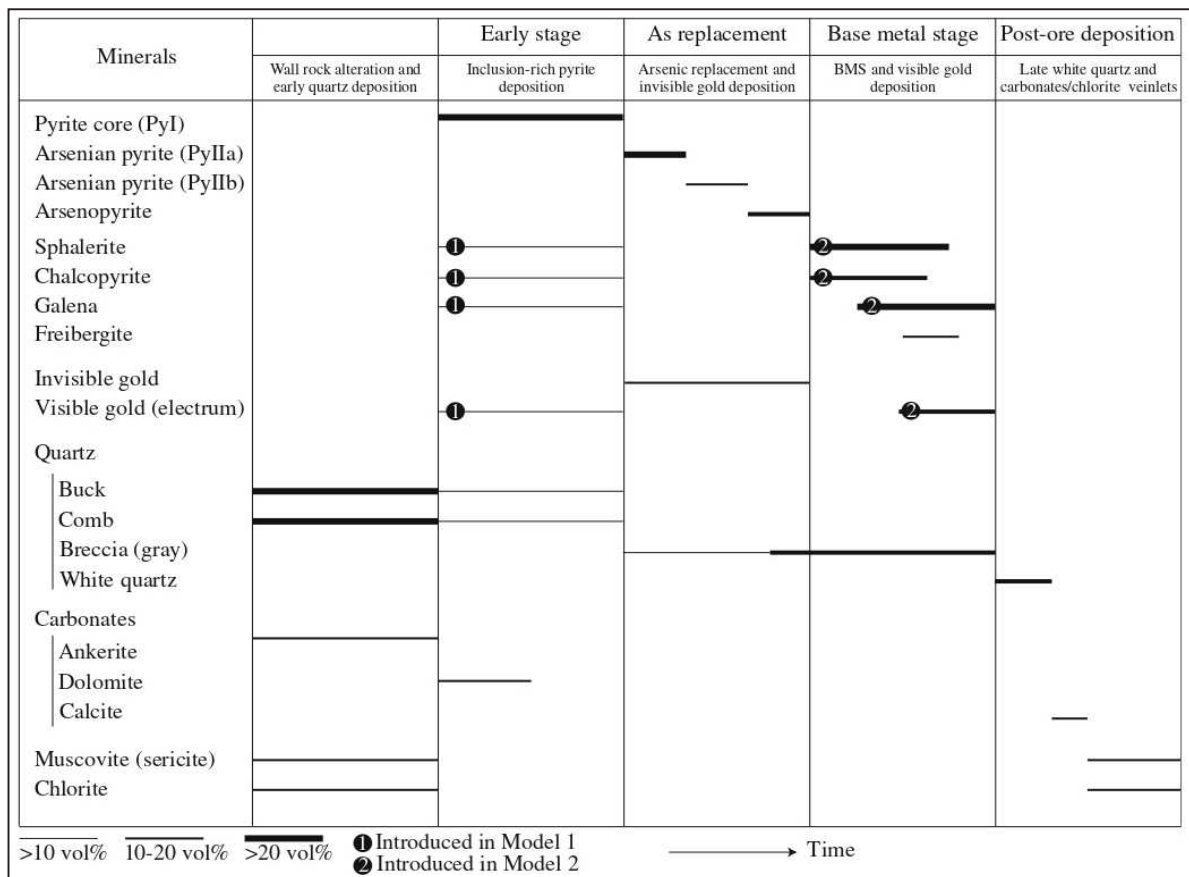


Figura 2.3 Secuencia paragenética de minerales de mena y ganga en base al estudio de 41 muestras procedentes de las áreas de Santa María y Paraíso (tomado de Voute et al., 2019)

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES LA CIÉNAGA

Mediante la apertura de una trinchera de orientación N 80° (cuadro 3.1), en el flanco este del depósito "I", se logró exponer el material de relaves "inalterados", atravesando la costra "alterada" de color amarillo blanquecino que los cubre.

A fin de lograr un manejo controlado del material removido y minimizar el impacto del mismo sobre el depósito, la apertura de la trinchera fue realizada desde la base del depósito hacia arriba, muestreando y cerrando paulatinamente esta (fotografía 3.1).

Cuadro 3.1

Coordenadas de ubicación de trinchera

Ubicación	Este_WGS84_Z18	Norte_WGS84_Z18
Límite oeste	214,918	9'138,880
Límite este	214,928	9'138,883



Fotografía 3.1 Vista mirando al este. Trabajos de relleno de trinchera (depósito "I"), después de la extracción de muestras (fotografía tomada por el Dr. W. Morche)

De esta trinchera, se recolectaron 21 muestras (cuadro 3.2), cuyos resultados químicos son descritos en detalle en el ítem 5.3 del presente informe.

El muestreo fue selectivo, definiéndose los tramos de muestreo en base a las características físicas que pudieron observarse en el campo, comprendiendo los cambios de color, de tonalidad, presencia de estructuras como fracturas, venillas u horizontes

reellenos de minerales; variaciones granulométricas al tacto y humedad, alcanzando una profundidad de 8.61 m. La diferenciación composicional fue mínima, no pudiendo identificar minerales con el empleo de la lupa de 20 aumentos; en cuanto al material es muy fino.

En el campo, la granulometría al tacto permitió clasificar al material de relaves como equivalente a una arcilla limosa.

Cuadro 3.2
Relación de muestras en trinchera


Orden	Código	Tramo (m)		Potencia
		De	a	m.
1	LC-I-023	0	0.9	0.9
2	LC-I-022	0.9	1.2	0.3
3	LC-I-021	1.2	1.8	0.6
4	LC-I-019	1.8	2.1	0.3
5	LC-I-018	2.1	2.35	0.25
6	LC-I-017	2.35	2.55	0.2
7	LC-I-016	2.55	3.05	0.5
8	LC-I-015	3.05	3.85	0.8
9	LC-I-014	3.85	4.7	0.85
10	LC-I-013	4.7	4.75	0.05
11	LC-I-012	4.75	5.15	0.4
12	LC-I-011	5.15	5.7	0.55
13	LC-I-009	5.7	6.15	0.45
14	LC-I-008	6.15	6.65	0.5
15	LC-I-007	6.65	7.05	0.4
16	LC-I-006*	6.65	7.05	0.4
17	LC-I-005	7.05	7.7	0.65
18	LC-I-004	7.7	7.8	0.1
19	LC-I-003	7.8	7.88	0.08
20	LC-I-002	7.88	8.11	0.23
21	LC-I-001	8.11	8.61	0.5

* Muestra de material de relleno, tomado en el tramo de la muestra LC-I-007

La muestra LC-I-006 (cuadro 3.3) fue tomada en la trinchera, y corresponde a la expresión superficial de la muestra “inalterada” LC-I-007, recolectada entre los 6.65 m y los 7.05 m de profundidad.

Cuadro 3.3

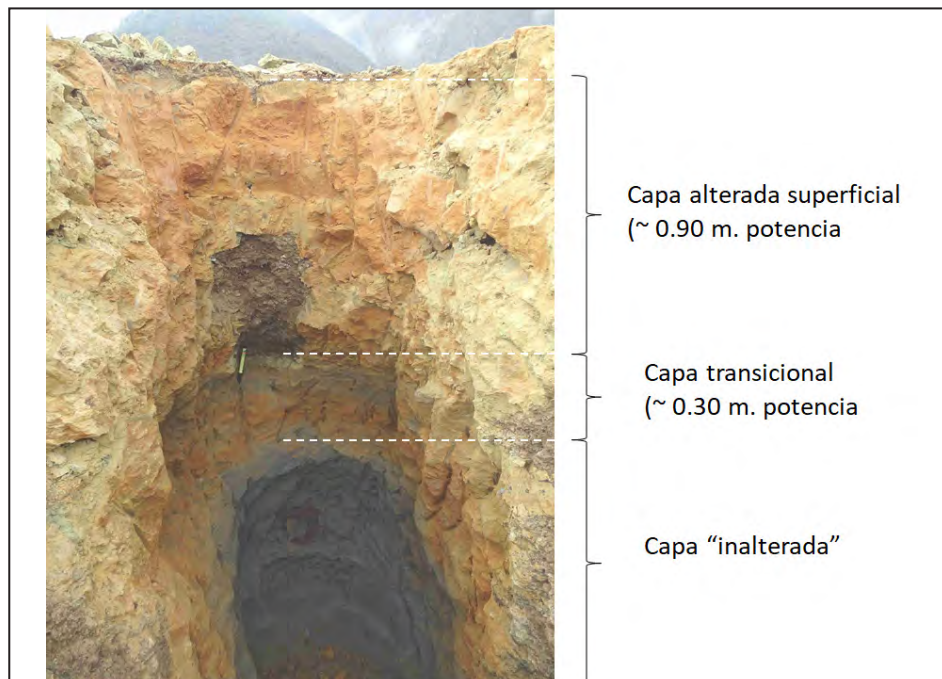
Descripción de material de relleno (Muestra LC-I-006)

-6.65	Imagen	Código	Pot. (m)	pH	Color	Descripción
-7.05		LC-I-006	0.40	3.55	Anaranjado	Material de relleno para sostenimiento de talud del relave, disposición caótica dando la apariencia de material de relleno que incluyen escasas raíces. Compuesto por fragmentos líticos aparentemente silíceos de formas angulosas a sub-angulosas de <1mm de diámetro, algunos fragmentos mayores alcanzando hasta 1cm de diámetro, muy poroso, impregnación y relleno de óxidos/hidróxidos de color anaranjado que cohesionan fuertemente el material. Presencia de material pulverulento blanco (yeso?)

Aproximadamente, el 90 % de las muestras corresponden a relaves “inalterados” de color gris oscuro y cerca del 10 % a relaves “alterados” de color amarillo blanquecinos que los cubre.

Los relaves se caracterizan por presentarse superficialmente cubiertos por una costra “alterada” de color amarillo blanquecino, muy competente y cohesionada, compuesta por sulfatos, óxidos, hidróxidos y arcillas (Capítulo VII), de

aproximadamente 0.90 m de espesor que gradúa en profundidad a material de color marrón anaranjado (alrededor de 0.30 m) a manera de una zona transicional hasta alcanzar finalmente el relave original o “inalterado” de característico color gris oscuro (fotografía 3.2 y cuadro 3.4). Internamente es posible diferenciar el material gris por tonalidades azulinas y verdosas, así como horizontes de relaves hidratados de color marrón grisáceo.



Fotografía 3.2 Corte vertical de los relaves pasando por una costra “alterada” de color amarillo blanquecino hasta alcanzar material inalterado de color gris oscuro (vista mirando al este)

Las características de los relaves en profundidad son presentadas en detalle en el cuadro 3.4 y, en general, pueden dividirse en cinco tramos:

De 1.20 a 2.35 m (1.15 m)

Capa de color gris azulino oscuro con niveles milimétricos rellenos por granos blancos translúcidos, pudiendo corresponder a cuarzo (?).

De 2.35 a 4.70 m (2.35 m)

Horizonte de color gris oscuro verdoso predominante, en donde también se presentan los niveles milimétricos compuestos de granos blancos translúcidos (cuarzo ?). La tonalidad verdosa pudiera estar relacionada a la presencia de clinocloro cuyo contenido es de alrededor de 10 %, determinado por difracción de rayos X (Capítulo VIII).

De 4.70 a 6.15 m (1.45 m)

De predominante color gris oscuro, está caracterizado por fracturas submilimétricas que tienden a la verticalidad y que se encuentran tapizadas por un material azul oscuro, no

identificado, así como por óxidos e hidróxidos de color pardo anaranjado. Se logró identificar granos de piritita y el reporte de difracción de rayos X, da el contenido más alto reportado para este tramo (aproximadamente 13 %).








De 6.15 a 7.80 m (1.65 m)

Distintivo por su color marrón, por presentarse muy hidratado y con gran plasticidad al tacto. Estos niveles hidratados han sido cortados también por los sondajes Auger en los cinco depósitos, pudiendo estar relacionados a niveles en donde el remanente de los relaves se ha concentrado. El análisis de difracción de rayos X reporta contenidos de plumbojarosita (6 %), que podrían darle el color marrón a este tramo, siendo coherente con los resultados de plomo (alrededor de 1.0 % Pb). Este tramo reporta las mayores concentraciones de arsenopiritita de la columna descrita, ascendente a 3.9 % de contenido.






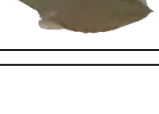
De 7.80 a 8.61 m (0.81 m)

Característico por su color gris oscuro azulino, reporta el mayor contenido de cuarzo ascendente a 60 % (determinación por difracción de rayos X).

Cuadro 3.4
Características físicas y pH de muestras de relaves procedentes de la trinchera LC-I (Oeste Depósito I)

0m	Imagen	Código	Pot. (m)	pH	Color	Descripción
-0.90		LC-I-023	0.90	2.81	Amarillo blanquecino	Nivel muy compacto formado por arcillas, jarosita, óxidos e hidróxidos de hierro, así como por yeso, que en algunas superficies de fractura se presenta cristalizado dando cristales blancos translúcidos.
-1.20		LC-I-022	0.30	6.05	Marrón anaranjado	Material formado por una mezcla de material de color marrón anaranjado (jarosita, goethita) y gris claro (relaves en proceso de oxidación). Hacia el tope presenta fracturas sinuosas con material fino de color verde (escorodita?).
-1.80		LC-I-021	0.60	7.93	Gris azulino oscuro	Material homogéneo, compacto, presenta hacia la base niveles milimétricos gris claro con yeso en granos blancos translúcidos.
-2.10		LC-I-019	0.30	8.05	Gris verdoso oscuro	Material dispuesto en capas, presenta hacia la base un nivel milimétrico gris claro con yeso en granos blancos translúcidos, junto a material fino azul oscuro. Hacia el tope se mantienen los niveles grises claros.
-2.35		LC-I-018	0.25	7.49	Gris azulino oscuro	Material homogéneo con niveles de alrededor de 1 mm de espesor formados por yeso blanco translúcido.
-2.55		LC-I-017	0.20	7.78	Gris marrón oscuro	Material homogéneo que contrasta con el nivel superior e inferior por su tenue coloración marrón que podría responder a la presencia de plumbojarosita, reportada en los análisis mineralógicos semicuantitativos por difracción de rayos X.
-3.05		LC-I-016	0.50	8.23	Gris oscuro verdoso	Material homogéneo que contiene piritita. Presencia de niveles submilimétricos con granos blancos translúcidos subredondeados (cuarzo?, sulfatos?).

Continuación...

	Imagen	Código	Pot. (m)	pH	Color	Descripción
0m		LC-I-015	0.80	7.49	Gris oscuro verdoso	Material con capas horizontales de 25-30 cm de espesor, entre capa y capa disposición de niveles milimétricos alrededor de 2mm), de color gris claro identificándose a la lupa granos blancos translúcidos subredondeados que corresponderían a yeso, asimismo impregnación de material fino de color azul oscuro en una fractura.
-3.85		LC-I-014	0.85	7.85	Gris oscuro verdoso	Material con capas horizontales de 25-30 cm de espesor, entre capa y capa disposición de niveles milimétricos (alrededor de 2 mm), de color gris claro identificándose a la lupa granos blancos translúcidos subredondeados que corresponderían a yeso.
-4.70		LC-I-013	0.05	7.72	Gris oscuro	Nivel con fracturas subverticales impregnadas por material fino de color azul oscuro y en menor proporción de color amarillo limón. Se distingue a la lupa pirita alrededor a 10 %. El material es muy plástico.
-4.75		LC-I-012	0.40	7.81	Gris oscuro	Material en el que se observa a la lupa pirita entre 10 a 15 %. En la parte central del nivel, se presenta una estructura concéntrica en capas cuyas superficies están impregnadas por óxidos/hidróxidos de color anaranjado y rojo brunáceo. Este nivel presenta algunas superficies tapizadas por material fino de color azul oscuro.
-5.15		LC-I-011	0.55	8.09	Gris oscuro	Material dispuesto en capas de 10 cm de espesor en la base y de 20 cm hacia el tope donde se presentan algunas fracturas con impregnaciones de óxidos/hidróxidos, así como de material amarillo verdoso.
-5.70		LC-I-009	0.45	8.78	Gris verdoso	Material homogéneo muy plástico, de apariencia granular a la lupa, con contenidos de pirita (10-15 %). Al tope un nivel de 5 mm de ancho de color gris verdoso claro, laminar, con contenidos de pirita (20-25 %) y granos de cuarzo hialino.
-6.15		LC-I-008	0.50	9.10	Marrón	Material muy plástico, hidromórfico que forma lodo al realizar la trinchera.
-6.65		LC-I-007	0.40	9.19	Marrón grisáceo	Material muy plástico compuesto por material de color marrón entremezclado con material de relave de color gris oscuro.
-7.05		LC-I-005	0.65	7.75	Gris marrón	Nivel con fracturas verticales de anchos submilimétricos, rellenas por óxidos/hidróxidos de color rojo brunáceo confiriéndole consistencia al nivel y desarrollo de cristales translúcidos en disposición radial. Halos de limonita de 5-7mm.
-7.70		LC-I-004	0.10	7.17	Marrón	Nivel con fracturas subverticales y polidireccionales sinuosas (7 fracturas /m) impregnadas por óxidos/hidróxidos de hierro de color anaranjado.
-7.80		LC-I-003	0.08	7.28	Gris azulino	Material compacto, moderadamente plástico, sin fracturas.
-7.88		LC-I-002	0.23	7.60	Marrón grisáceo	Nivel con fracturas submilimétricas (3 fracturas/m), rellenas por óxidos-hidróxidos de color rojo brunáceo y halo marrón anaranjado.
-8.11		LC-I-001	0.50	8.30	Gris azulino	Material compacto, muy plástico, que forma superficies concoideas al extraerse.
-8.61						

3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se realizaron análisis granulométricos en 4 muestras procedentes de la trinchera LC-I; los resultados son resumidos en el cuadro 3.5 y el reporte de laboratorio se presenta como anexo 1.

El tamizado para este análisis fue realizado en húmedo controlando la disgregación del material bajo el microscopio; en cuanto el tamizaje en seco, no logra evitar la aglutinación de partículas (Cánepa, 2016).

Cuadro 3.5

Resultados de análisis granulométrico

Código	Peso inicial (gr)	Tamiz #	Apertura (µm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Acumulado
LC-I-001	100	100	150	0.86	0.86	0.86
		140	105	4.58	4.58	5.44
		200	75	7.36	7.36	12.8
		400	38	16.32	16.32	29.12
		-400	10	67.39	67.39	96.51
		Partículas suspendidas		3.49	3.49	
LC-I-009	100	100	150	7.12	7.12	7.12
		140	105	21.14	21.14	28.26
		200	75	13.05	13.05	41.31
		400	38	18.75	18.75	60.06
		-400	10	36.58	36.58	96.64
		Partículas suspendidas		3.36	3.36	
LC-I-014	97	100	150	4.11	4.24	4.24
		140	105	9.69	9.99	14.23
		200	75	14.71	15.16	29.39
		400	38	14.37	14.81	44.21
		-400	10	50.49	52.05	96.26
		Partículas suspendidas		3.63	3.74	
LC-I-021	96	100	150	13.06	13.6	13.6
		140	105	10.04	10.46	24.06
		200	75	13.1	13.65	37.71
		400	38	12.54	13.06	50.77
		-400	10	42.67	44.45	95.22
		Partículas suspendidas		4.59	4.78	

Los resultados muestran que entre el 37 % y el 67 % de los relaves comprenden de fracciones finas (< 10 µm), tal como lo muestra la figura 3.1.

De los cuatro resultados, la muestra LC-009 correspondiente al tramo entre los 5.70 y 6.15 m es el de mayor variabilidad.

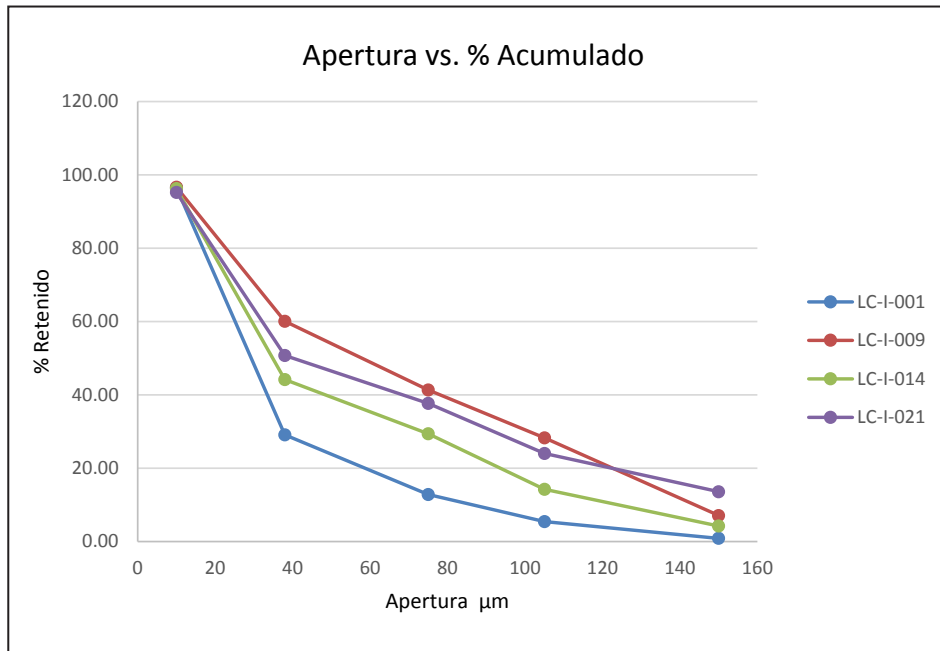


Figura 3.1 Gráfico de apertura vs. % retenido

3.2 ANÁLISIS QUÍMICO DE FRACCIONES

En los laboratorios del Ingemmet, se analizaron químicamente las cuatro muestras empleadas para el estudio granulométrico, desarrollando ensayo al fuego y determinación por AAS-flama para el Au, absorción atómica con digestión multiácida para Ag, Cu, Pb, Zn y Fe e ICP-OES para otros 27 elementos químicos, considerando las subfracciones -140+400 Mesh y -400 Mesh,

a excepción de la muestra LC-I-009 en la que únicamente se analizó la subfracción más fina (-400), por carencia del material (cuadro 3.6).

Los resultados reportan las mayores concentraciones en Au y elementos asociados a la mineralización (figura 3.2); en la fracción más fina (-400), reportando el Au, 1.5 veces más en la fracción -400 que en la -140+400.

Cuadro 3.6

Resultados geoquímicos por subfracciones

	LC-I-001	LC-I-001	LC-I-001	LC-I-009	LC-I-009	LC-I-014	LC-I-014	LC-I-021	LC-I-021
Au ppm	1.670	2.742	1.393	1.393	0.837	1.355	0.837	1.047	1.047
Ag ppm	31.7	87.0	1.7	1.7	1.0	8.8	<0.5	3.3	3.3
Al %	4.47	6.83	3.30	3.30	3.48	5.31	3.03	5.04	5.04
As ppm	7322	17067	4840	4840	3604	11381	3178	7870	7870
Ba ppm	149	224	177	177	180	273	168	266	266
Bi ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ca %	1.96	2.05	2.02	2.02	2.78	3.09	2.00	2.18	2.18
Cd ppm	9	19	8	8	6	16	3	5	5
Co ppm	17	29	16	16	13	28	13	24	24
Cr ppm	73	113	77	77	85	148	56	97	97
Cu ppm	132	308	90	90	65	176	57	170	170
Fe %	7.87	12.52	7.40	7.40	4.95	9.55	5.42	8.14	8.14
K %	1.57	2.43	1.18	1.18	1.21	1.91	1.10	1.97	1.97
La ppm	14	20	7	7	9	14	9	13	13
Li ppm	11	12	9	9	11	16	9	14	14
Mg %	0.90	1.09	0.95	0.95	1.25	1.79	0.88	1.51	1.51
Mn %	0.14	0.23	0.11	0.11	0.13	0.21	0.11	0.21	0.21
Mo ppm	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2	3	3
Na %	0.22	0.20	0.35	0.35	0.37	0.34	0.30	0.40	0.40
Ni ppm	18	31	29	29	30	57	21	45	45
P %	0.05	0.08	0.06	0.06	0.03	0.07	0.02	0.05	0.05
Pb ppm	1943	4580	1157	1157	1386	7409	348	2209	2209
Sb ppm	144	282	18	18	14	46	6	14	14
Sc ppm	16	23	10	10	11	18	9	16	16
Si %	30.45	22.32	32.02	32.02	33.00	25.59	35.05	27.82	27.82
Rb ppm	56	90	47	47	48	81	41	78	78
Sr ppm	50	56	53	53	63	72	49	53	53
Ti %	0.58	0.55	0.29	0.29	0.33	0.39	0.28	0.35	0.35
V ppm	147	213	96	96	108	183	84	148	148
W ppm	18	25	17	17	16	34	13	18	18
Y ppm	18	24	9	9	8	14	10	13	13
Zn ppm	946	1986	840	840	677	1848	317	791	791
Zr ppm	114	133	65	65	51	92	61	82	82

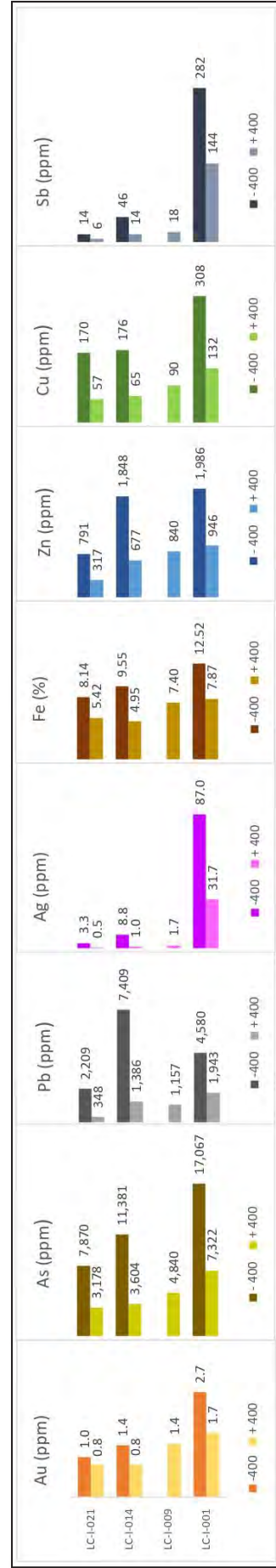


Figura 3.2 Resultados geoquímicos por subfracciones de Au y elementos asociados a la mineralización

CAPÍTULO IV

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos constituyen las características físicas y químicas de una sustancia a través de las cuales se puede evaluar la naturaleza de la misma y el potencial de impactos, positivo o negativo, con su entorno.

Para el caso de los relaves La Ciénaga, se tomaron los parámetros fisicoquímicos para 165 muestras de relaves, empleando dos equipos multiparámetros portátiles marca HANNA, modelo HI-9828.

Este trabajo fue efectuado en una etapa de gabinete posterior al muestreo, con ligeras variantes siguiendo la metodología descrita en el informe de Morche (2017), empleando 10 ml de volumen de muestra de relave (pastoso) disuelto en 30 ml de agua ultrapura mediante agitación, dejándose asentar la muestra en solución aproximadamente 1 minuto antes de su medición. Las lecturas en ambos equipos se efectuaron simultáneamente empleando dos submuestras.

Para las soluciones de los relaves La Ciénaga, se consideran los parámetros de potencial de Hidrógeno (pH), potencial de óxido-reducción (ORP), conductividad eléctrica (CE), total de sólidos disueltos (TDS), salinidad, presión y temperatura. Las mediciones han sido validadas y se presentan como anexo 2.

4.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Las medidas tomadas reportaron valores que van de 2.75 a 9.70, para los cinco depósitos de relaves La Ciénaga.

Estos resultados definen tres poblaciones marcadas de datos (figura 4.1):

- Población 1: 2.75 a 3.89 pH, para el 9 % de los datos (n:14)
- Población 2: 5.20 a 6.50 pH, para el 7 % de los datos (n:12)
- Población 3: 6.70 a 9.70 pH, para el 84 % de los datos (n: 139)

Lo obtenido guarda relación con la profundidad de procedencia del material de relaves muestreados, correspondiendo valores de pH ácido ≤ 6.5 , al relave ubicado entre la superficie y 1 m de profundidad promedio (relave "alterado"), característico por ser de color amarillo blanquecino; y el pH cercano a la neutralidad a básico > 6.5 a relaves "inalterados" de color gris oscuro ubicados a mayor profundidad.

Según la clasificación de los rangos de pH de los suelos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos, los relaves entre superficie y los 0.5 m corresponden a "ultra ácidos - extremadamente ácidos", de los 0.50 m a 1.0 de profundidad a "fuertemente ácidos - ligeramente ácidos" y para aquellos de mayor profundidad a "neutros - muy fuertemente alcalinos".

4.2 POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN (ORP)

El total de medidas realizadas reportaron ORP positivos y van de 41 a 599 mV, para las soluciones de relaves La Ciénaga, procedentes de los cinco depósitos; caracterizándolos como relaves potencialmente oxidantes.

Los valores obtenidos permiten diferenciar dos grupos de resultados según su intensidad, el primero corresponde al 88 % (n: 145) del total de muestras con valores que van de 41 a 297 mV y el segundo corresponde al 12 % (n:20) de los datos, con valores que van de 308 a 599 mV. Ambos grupos están vinculados al nivel de profundidad de procedencia de los relaves (figura 4.2). Los resultados de ORP más altos proceden de los relaves "alterados" ubicados desde la superficie hasta 0.50 m de profundidad en promedio que se caracterizan por su color amarillo blanquecino, y disminuye la intensidad de ORP de los relaves a mayores profundidades donde se presentan con colores grises oscuros "relaves inalterados".

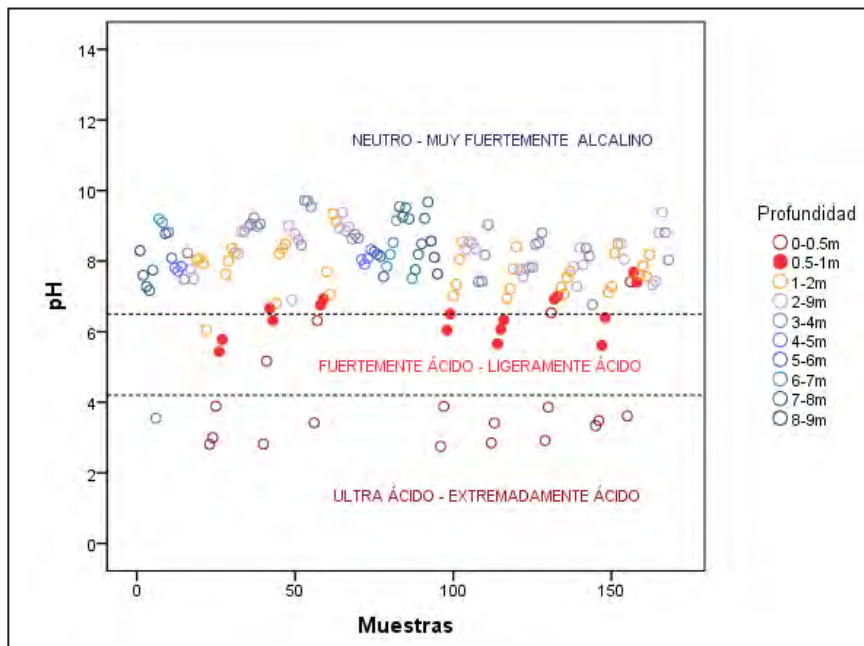


Figura 4.1 Medidas de potencial de Hidrógeno (pH) – Relaves La Ciénaga

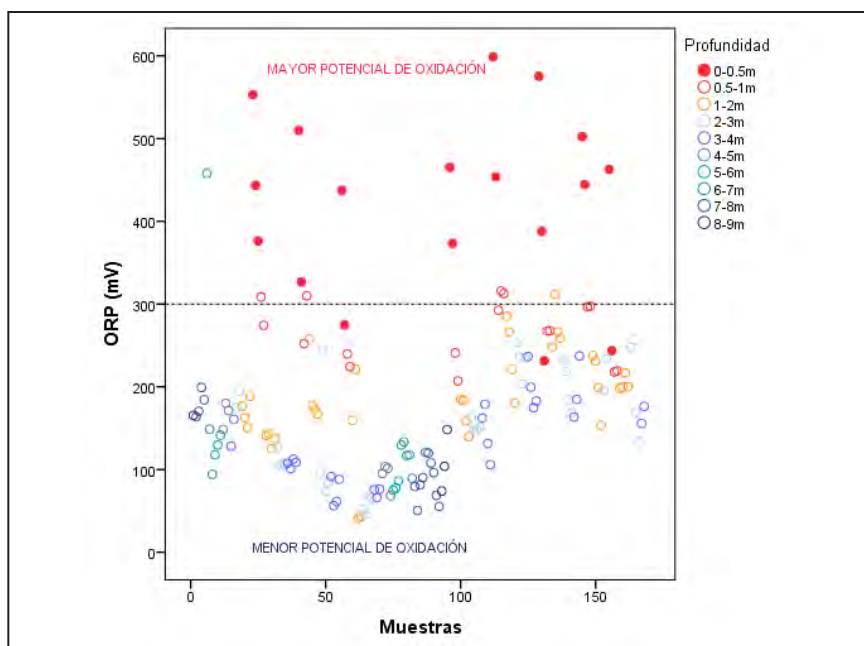


Figura 4.2 Medida de potencial de óxido reducción (ORP) – Relaves La Ciénaga

4.3 PRESIÓN

Las medidas de presión muestran poca variabilidad de resultados (figura 4.3), y se obtiene en promedio de 985 mbar

para el total de medidas realizadas, evidenciando que el total de mediciones de parámetros fisicoquímicos fue realizado bajo condiciones de presión constante.

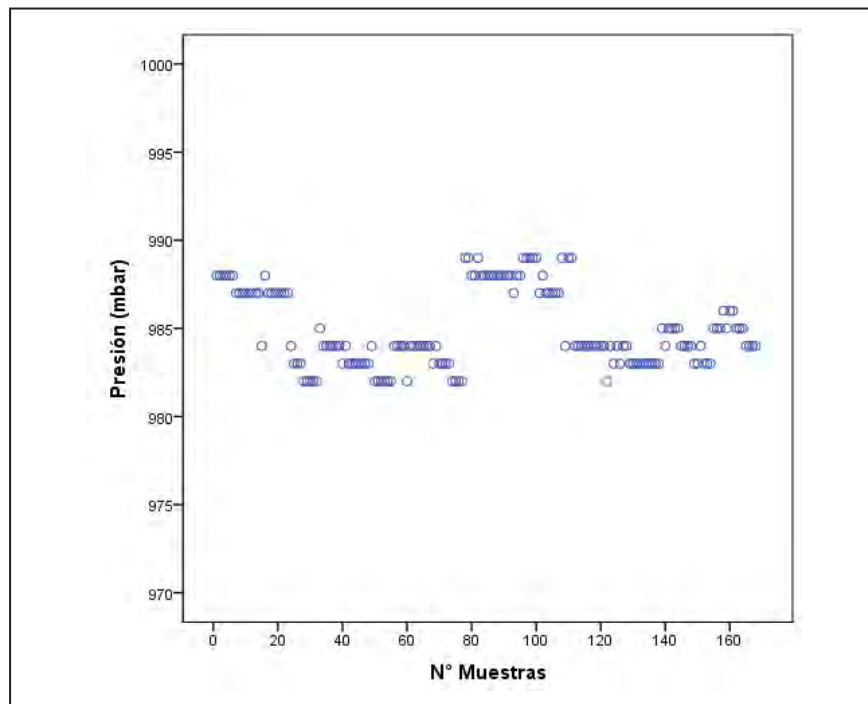


Figura 4.3 Medidas de presión – Relaves La Ciénaga

4.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Las medidas realizadas varían en un amplio rango de valores que van desde 53 a 2930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 4.4), correspondiendo los valores bajos de $\text{CE} < 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ al 79 % (n: 131) de

muestras procedentes de los relaves ubicados a profundidades mayores a 1 m (material gris oscuro) y el 21 % restante de mediciones (n: 34) con $\text{CE} \geq 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ proceden de relaves ubicados entre la superficie y 1 m de profundidad (relave “alterado” con coloraciones amarillo blanquecinas).

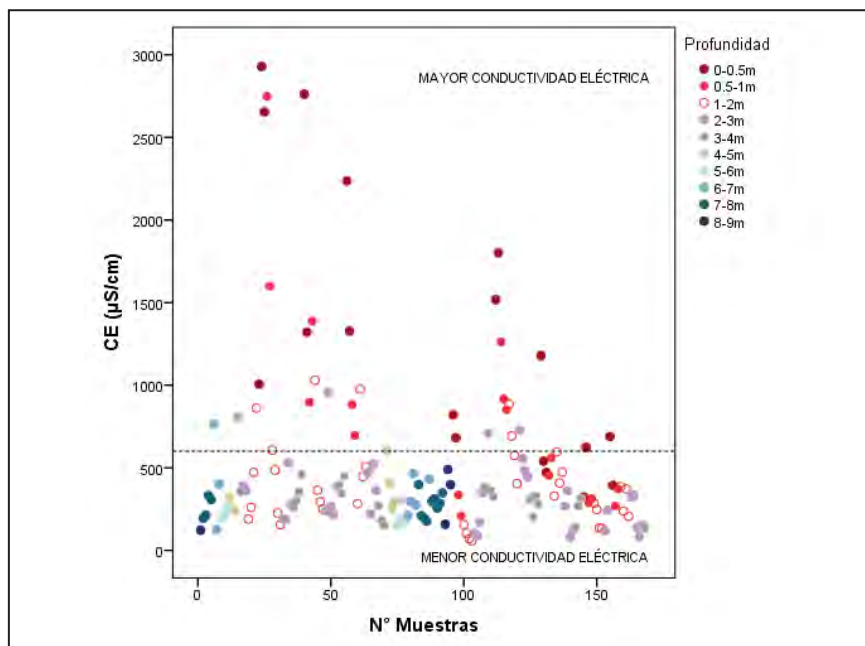


Figura 4.4 Medidas de conductividad eléctrica (CE) – Relaves La Ciénaga

4.5 TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS (TDS)

Las medidas realizadas reportan valores que van de 29 a 1465 ppm de TDS (figura 4.5), y al igual que para la CE, estos valores están relacionados con la profundidad y estado de los relaves. Los relaves “inalterados” de los niveles profundos (> 1 m de profundidad) son menos solubles, por lo que presentan menor concentración de sólidos disueltos en la solución de relaves y

los de profundidades más someras (<1 m) presentan valores más altos de TDS definiendo una capacidad mayor de solubilidad en los relaves “alterados” cuya característica visual es la de presentarse con colores amarillo blanquecinos.

La solubilidad de los niveles cercanos a superficie concentra TDS hasta 14 veces el promedio del total de TDS de los relaves “inalterados” ubicados en profundidad.

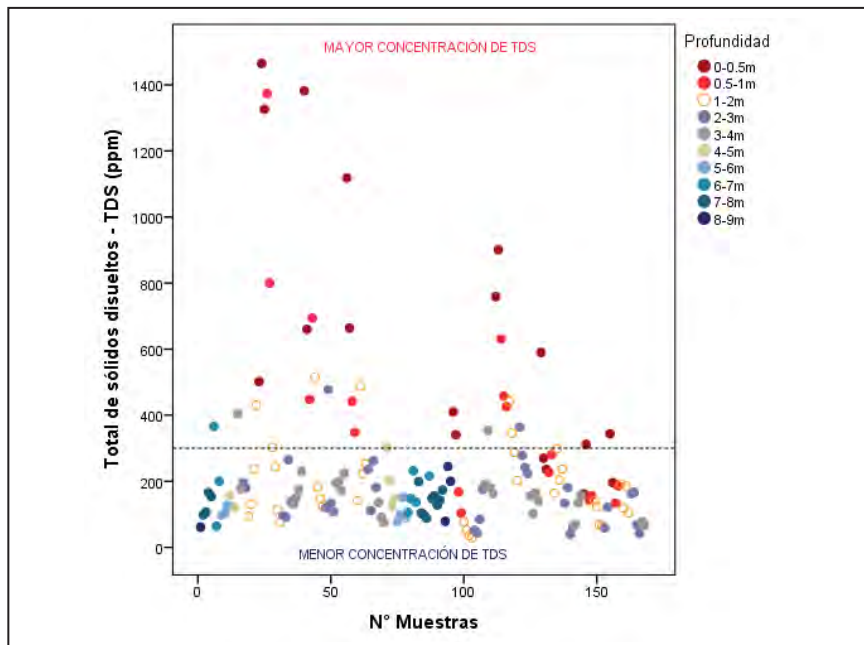


Figura 4.5 Medidas del total de sólidos disueltos (TDS) – Relaves La Ciénaga

4.6 SALINIDAD

Las medidas de salinidad para las muestras de relaves varían de 0.03 a 1.55 PSU (figura 4.6), y estos resultados, al igual que para la CE y TDS, están relacionados al estado del relave muestreado, para aquellos relaves procedentes de profundidades mayores a 1 m y que en general se encuentran “inalterados” y visualmente presentan un color gris oscuro; la salinidad es más baja (< 0.30 PSU) respecto a aquellos relaves “alterados” cercanos en superficie de color amarillo blanquecino cuya salinidad alcanza hasta 10 veces la concentración promedio de los relaves “inalterados”.

Este parámetro pone en evidencia la capacidad de solubilizar mayor cantidad de sales en los relaves “alterados” cercanos a la superficie respecto a los relaves “inalterados” de profundidad.

4.7 TEMPERATURA

Las lecturas de temperatura reportaron valores de acuerdo a la época en la que se realizaron las medidas; para aquellas tomadas entre los meses de octubre y noviembre de 2019, la temperatura promedio de la solución de relaves fue de 20 °C y para aquellas tomadas en el mes de febrero de 2020 fue de 26 °C, lecturas tomadas entre las 8 y 14 horas (figura 4.7).

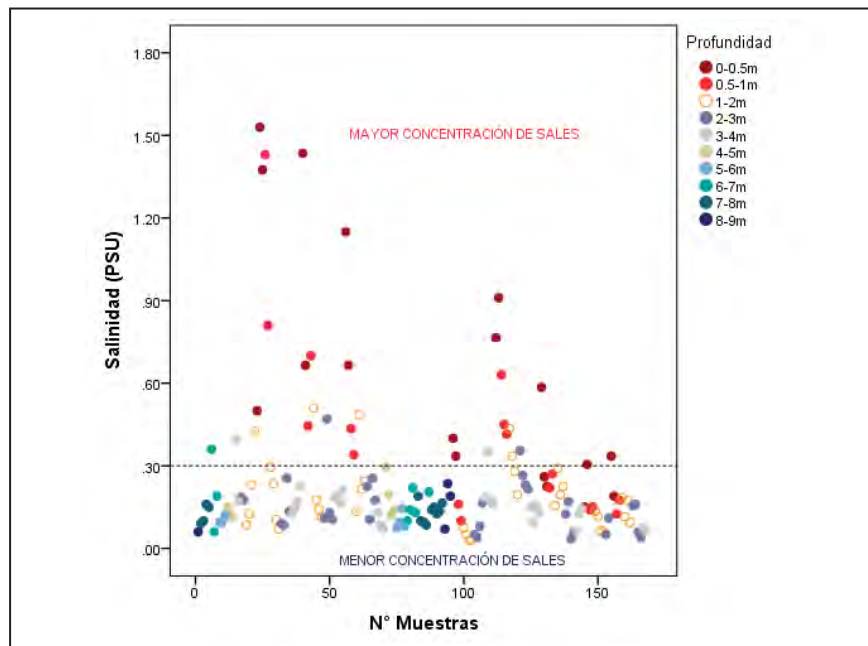


Figura 4.6 Medidas de salinidad - Relaves La Ciénaga

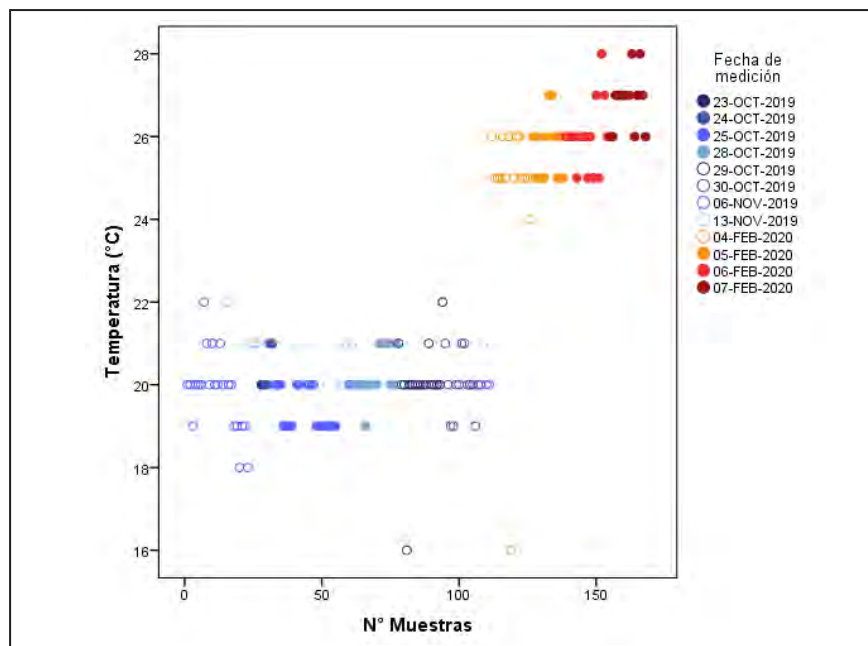


Figura 4.7 Medidas de temperatura – Relaves La Ciénaga

4.8 RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

Las medidas de los parámetros fisicoquímicos para las soluciones de relaves han permitido determinar correlaciones entre estas (cuadro 4.1). Para los relaves La Ciénaga, las correlaciones determinadas son:

(pH - ORP)-- : Fuerte correlación negativa

CE - TDS - Salinidad : Fuerte correlación positiva

[pH- (CE - TDS - Salinidad)]-- : Débil correlación negativa

ORP - (CE - TDS - Salinidad) : Débil correlación positiva

Cuadro 4.1

Correlación de Pearson para parámetros fisicoquímicos

	T_°C	pH	ORP	CE	TDS	Salinidad	Presión
T_°C	1						
pH	-.249**	1					
ORP	.427**	-.938**	1				
CE	0.007	-.697**	.631**	1			
TDS	0.007	-.696**	.630**	1.000**	1		
Salinidad	0.002	-.691**	.623**	1.000**	1.000**	1	
Presión	-.325**	0.072	-0.139	-.232**	-.233**	-.230**	1

4.8.1 Correlación negativa: (pH - ORP)--

El valor de la correlación de Pearson es alta negativa, del orden de -0.938, y demuestra la fuerte dependencia inversa entre estos dos parámetros fisicoquímicos.

La correlación negativa (pH - ORP)- evidencia la dependencia inversa entre ambos parámetros, es decir que cuando el ORP es bajo el pH es alto y a medida que el ORP sube los valores de pH decrecen proporcionalmente (figura 4.8 y mapa 1).

Como se concluyó en la descripción realizada para el ORP, los relaves La Ciénaga constituyen medios oxidantes, y la relación con el pH caracteriza adicionalmente a los relaves presentes superficialmente (hasta 1 m de profundidad en promedio) como medios oxidantes ácidos y a los de mayor profundidad que se presentan con colores grises oscuros como medios oxidantes básicos (figura 4.9).

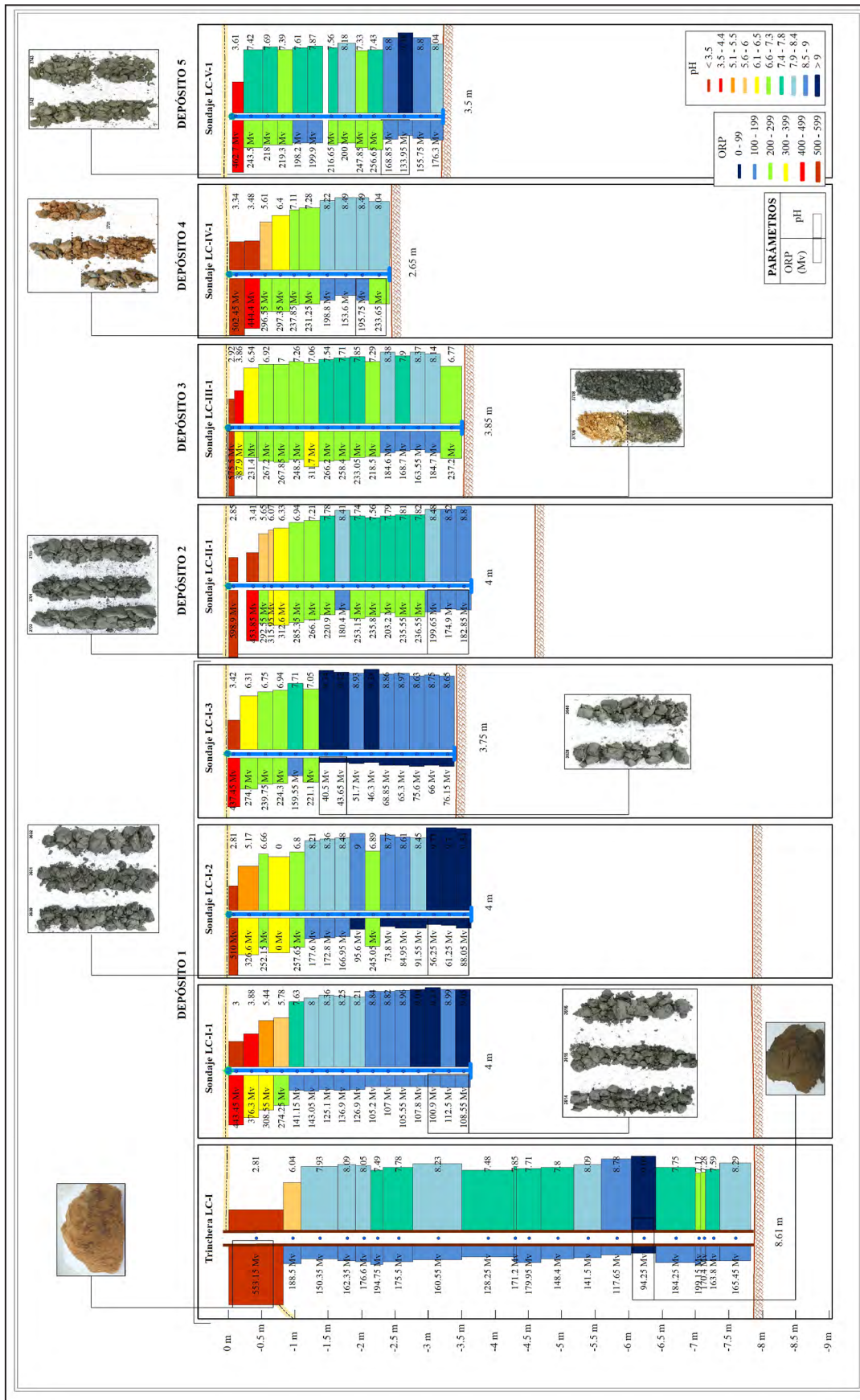


Figura 4.8 Resultados de ORP y pH para los relaves mineros La Ciénaga

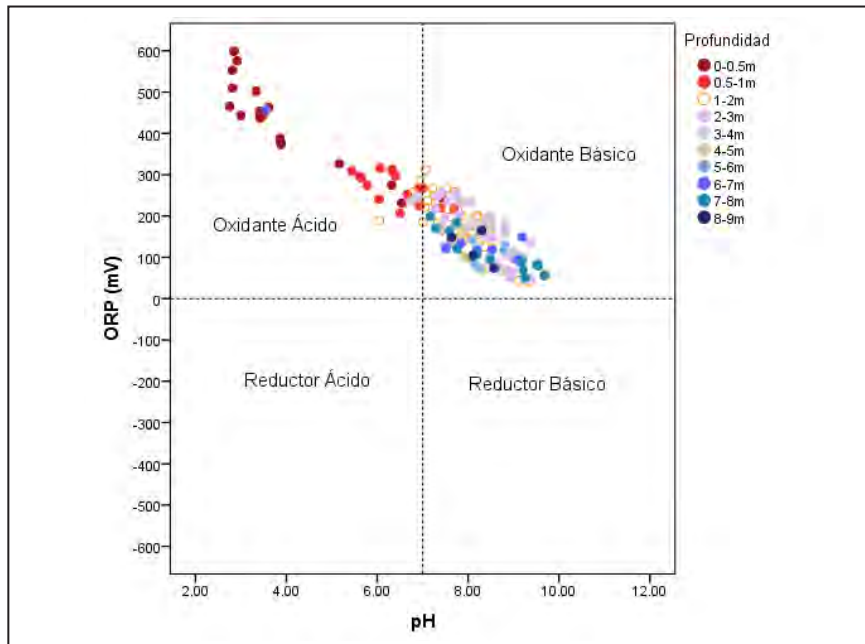


Figura 4.9 ORP vs. pH – Relaves La Ciénaga

4.8.2 Correlación positiva: CE - TDS - Salinidad

La correlación de Pearson entre estos tres parámetros fisicoquímicos es positiva perfecta, con valor de 1.00 (figura

4.10), lo cual denota que estos tres parámetros están estrechamente relacionados, respondiendo la conductividad eléctrica a la presencia de sales disueltas derivando en iones que constituyen el total de sólidos disueltos en la solución de relaves.

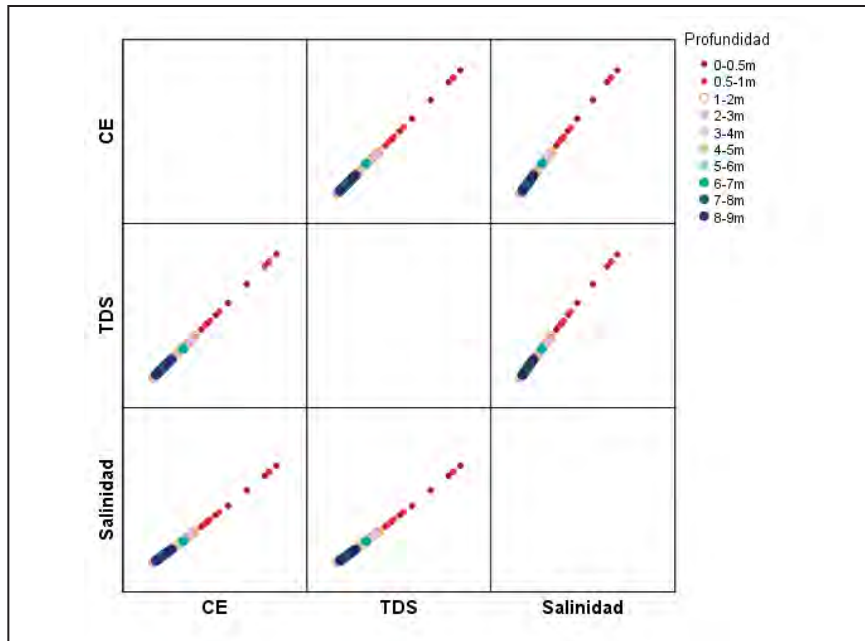


Figura 4.10 Correlación de Pearson para CE – TDS -Salinidad – Relaves La Ciénaga

La concentración de iones procedentes del material alterado de relaves que va desde superficie hasta 1.0 m de profundidad, en promedio, alcanza concentraciones de hasta 7 veces respecto

a la concentración promedio expresada en ppm de TDS para el material “inalterado” de profundidad (figura 4.11).

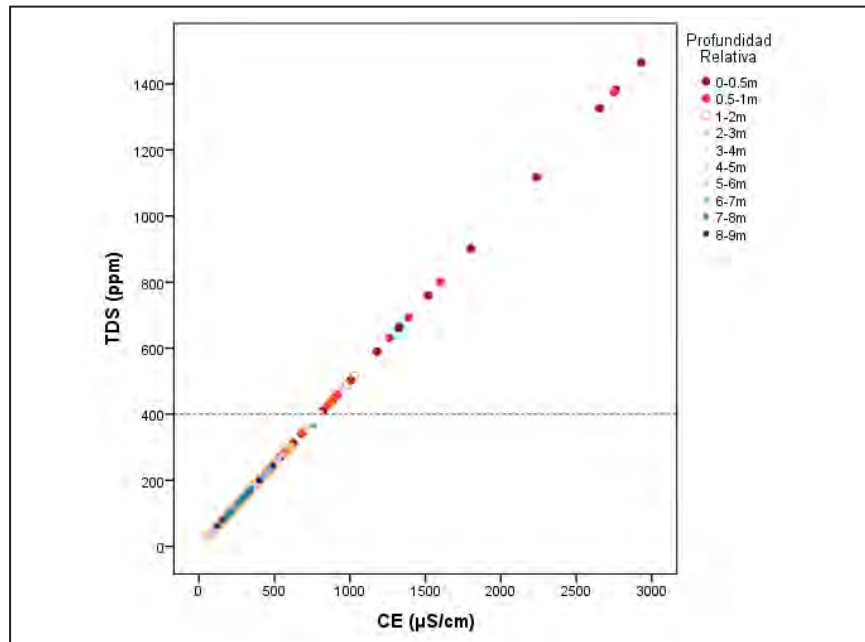


Figura 4.11 TDS vs. CE – Relaves La Ciénaga

4.8.3 Débil correlación negativa: [pH- (CE - TDS - Salinidad)]-

A pesar de que la correlación es débil, los parámetros pH, CE, TDS y salinidad muestran una tendencia definida: en

medios ácidos (bajo pH, zona superficial, relaves alterados), la solubilidad es mayor, es decir el potencial de liberación de iones es alto, lo cual disminuye en profundidad (alto pH, zona profunda, relaves inalterados) (figura 4.12).

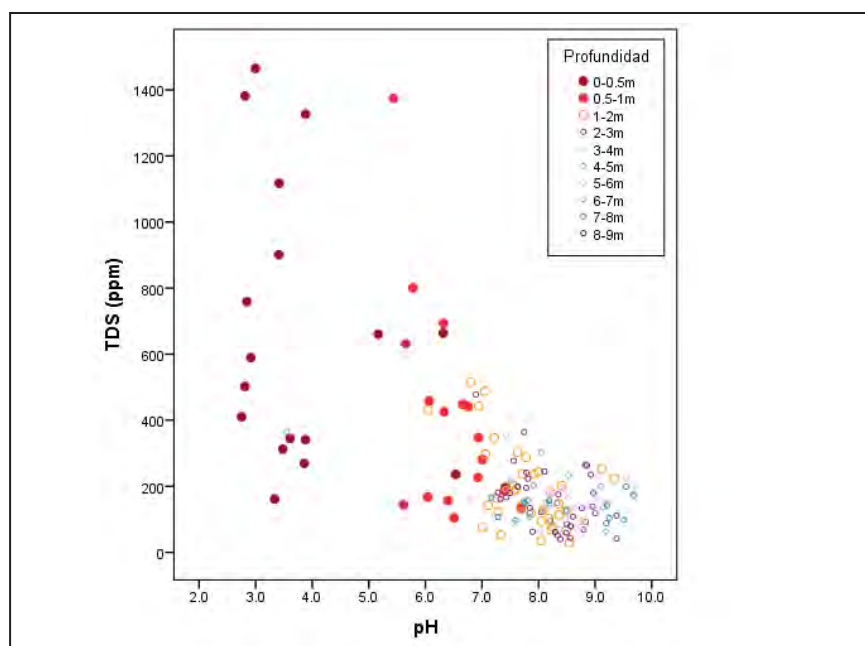


Figura 4.12 TDS vs. pH – Relaves La Ciénaga

4.8.4 Débil correlación positiva: ORP - (CE - TDS - Salinidad)

Esta correlación está demostrando que en medios con mayor potencial de oxidación (alto ORP, zona superficial, relave

alterado), la concentración de iones liberados en la solución tiende a incrementarse notablemente, mientras que en medios con menor potencial de oxidación (bajo ORP, zona profunda, relave inalterado) el TDS disminuye (figura 4.13).

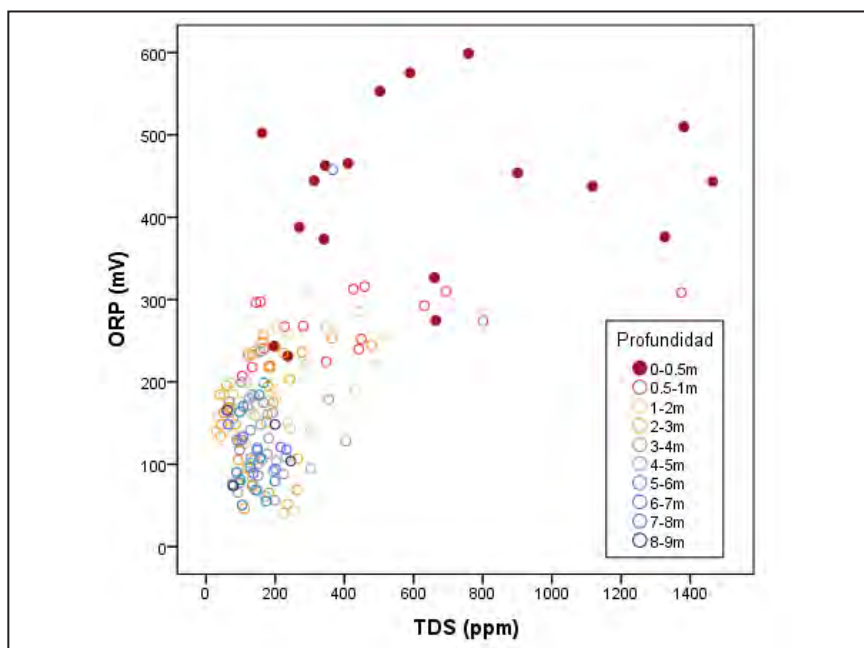


Figura 4.13 ORP vs. TDS – Relaves La Ciénaga

4.9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El potencial de Hidrógeno (pH) de los relaves “inalterados”, en promedio, es de naturaleza alcalina (alrededor de 8.0), variando entre 6.70 a 9.70 pH; y de los “alterados” ácida (alrededor de 4.0), pudiendo a la vez subdividirse en ultra a extremadamente ácidos entre 0-0.5 m (2.75 - 3.89 pH) y de fuertemente a ligeramente ácidos entre 0.5-1.0 m (5.2 - 6.50 pH). La medición del potencial de óxido-reducción (ORP) indica que los relaves contienen material con potencial de oxidación siendo relativamente menor este potencial para el material “inalterado” (41 a 297 mV), y mayor para el material “alterado” (308 a 599 mV).

La medición de sólidos totales disueltos (TDS) de los relaves “alterados” es 100 ppm en promedio y de los “inalterados” 700 ppm, lo cual constituye siete (07) veces más que los “inalterados”, llegando hasta 14 veces los niveles más superficiales, lo que influye en su naturaleza ácida propiciando una mayor solubilidad y movilidad de elementos.

Indirectamente, las mediciones de conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (TDS) y salinidad, evidencian una mayor presencia de sales disueltas que derivan en iones, en la costra superficial de los relaves con $\geq 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ de CE, $\geq 300 \text{ ppm}$ TDS y $\geq 0.30 \text{ PSU}$ de salinidad.

El análisis de los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos para las soluciones de los relaves La Ciénaga, conlleva la asignación de los relaves dispuestos desde superficie hasta 1 m de profundidad, en promedio, como medios de naturaleza potencialmente oxidante ácidos con liberación de iones en concentraciones mayores (hasta 14 veces expresado en concentración de TDS), respecto a los relaves ubicados a mayor profundidad cuya naturaleza es oxidante básica.

Por lo tanto, los relaves “alterados” de superficie constituyen una fuente de liberación de iones y, por lo tanto, son origen de contaminación ambiental. Los relaves de profundidad “inalterados” están como encapsulados, pero tienen potencial de oxidar y liberar iones de ser expuestos a la atmósfera o que, a lo largo del tiempo, profundice el alcance de la alteración de los relaves.

CAPÍTULO V

GEOQUÍMICA DE RELAVES

5.1 GENERALIDADES

En La Ciénaga, se recolectaron 124 muestras de relaves procedentes de una trinchera y de siete sondajes cortos con equipo Auger (cuadro 5.1 y figura 5.1).

Asimismo, se tomaron 41 muestras de relaves (cuadro 5.2 y figura 5.1), en tres sondajes perforados adyacentemente a la trinchera LC-I en tres niveles que representan en conjunto a todo el perfil vertical del flanco oeste del depósito I, de manera similar a la trinchera LC-I, pero de menor diámetro de corte. En conjunto, el resultado de estos tres sondajes han sido tratados como "sondajes gemelos" a la trinchera LC-I, empleándose para evaluar la representatividad de muestreo de los sondajes Auger y la variabilidad lateral de los relaves (ítem 5.5).

Adicionalmente, entre los 6.65 y 7.05 m (0.40 m) de la trinchera LC-I, se recolectó la muestra (LC-I-006), compuesta de material caótico heterogéneo correspondiente a material de relleno para sostenimiento de los relaves cuyos resultados analíticos no reportaron contenidos relevantes en Au (0.10 ppm Au). Las

concentraciones de los elementos analizados para esta muestra están incluidas en el anexo 3.

El total de muestras fueron analizadas en los laboratorios de AGQ Labs Perú, que cuenta con la acreditación ISO 17025. Las técnicas analíticas empleadas fueron las de Absorción Atómica a la Llama para el Au (166 muestras), ICP-OES con digestión de 4 ácidos para 31 elementos (166 muestras), ICP-MS con fusión alcalina para 20 elementos que incluyen tierras raras (07 muestras), Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío para el Hg (07 muestras), Electrometría para el cianuro total y Espectrofotometría UV-VIS para cianuro libre (12 muestras); lo que arrojó un total de 55 parámetros analizados. Los resultados analíticos se presentan como anexo 3.

Adicionalmente, se contó con los laboratorios de Ingemmet que actuaron como laboratorios de control secundarios, analizando 166 muestras por Au, y 10 muestras por multielementos (n: 32 elementos), tierras raras y mercurio; los resultados son presentados en el anexo 4.

Cuadro 5.1

Ubicación de muestras de relaves (WGS 84, zona 18)

Ubicación	Este	Norte	Muestras	Depósito	Ángulo	Distancia (m)	Observación
Trinchera LC-I	214928	9138883	20	I	90°	0.00 - 8.61	Contacto base
Sondaje LC-I-1	214933	9138884	16	I	90°	0.00 – 4.00	Sin contacto base
Sondaje LC-I-2	214955	9138872	16	I	90°	0.00 – 4.00	Sin contacto base
Sondaje LC-I-3	214969	9138853	15	I	90°	0.00 – 3.75	Probable contacto base-roca
Sondaje LC-II-1	215040	9138885	17	II	90°	0.00 – 4.00	Sin contacto base
Sondaje LC-III-1	215070	9138872	16	III	90°	0.00 – 3.85	Contacto base
Sondaje LC-IV-1	215101	9138856	10	IV	90°	0.00 – 2.65	Contacto base
Sondaje LC-V-1	215082	9138818	14	V	90°	0.00 – 3.50	Contacto base
			124				

Cuadro 5.2

Ubicación de muestras de relaves (WGS 84, zona 18) en "sondajes gemelos"

Ubicación	Este	Norte	Muestras	Depósito	Ángulo	Distancia (m)	Observación
Sondaje LC-I-4	214926	9138882	16	I	90°	0.00 – 3.90	Centro Trinchera
Sondaje LC-I-5	214920	9138880	9	I	45°	1.25 – 3.35	Al oeste trinchera, contacto base
Sondaje LC-I-6	214935	9138883	16	I	90°	0.00 – 4.00	Al este de la trinchera. Parte alta del depósito
			41				

El control de calidad de los resultados analíticos de AGQ Labs Perú fue realizado en base a los resultados de 35 muestras de control insertadas en el lote de análisis. Comprende 11 muestras de material de blancos, 22 muestras de material de estándares y 2 duplicados de campo tomadas únicamente en la trinchera LC-I, que en conjunto representan el 17 % del total de muestras analizadas (anexo 5); asimismo, se evaluó la reproducibilidad analítica entre los laboratorios de AGQ Labs Perú e Ingemmet para el Au (anexo 6).

Los resultados del control de calidad indican que no hay problemas de contaminación, los niveles de exactitud son aceptables para el 73 % de resultados y niveles de precisión analítica < 3.1 RPD para el Au en la trinchera LC-I, teniendo confianza de los resultados de AGQ Labs Perú. Asimismo, la variabilidad analítica de Au, entre los laboratorios del Ingemmet y de AGQ es < 20 RPD para el 99 % de resultados, siendo los resultados de AGQ más conservadores que los reportados por Ingemmet.

Los resultados geoquímicos de los relaves La Ciénaga, en general, configuran "distribuciones estadísticas normales" para la mayoría de elementos presentes en los relaves, incluyendo el Au y "distribuciones asimétricas positivas" para un menor número.

La distribución geoquímica normal predominante en los relaves contrasta con los resultados geoquímicos que cotidianamente se obtienen de poblaciones naturales que definen curvas asimétricas. Este comportamiento estaría relacionado a que en general este material es homogéneo producto de los procesos metalúrgicos que los originaron, así como a similar, aunque no exactamente igual contexto geológico de procedencia.

El Au constituye el elemento de interés económico en los relaves La Ciénaga y está presente en la totalidad de los depósitos asociados con la Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Pb, S,

Sb y Zn; destacando altas concentraciones en As y Pb que constituyen elementos potencialmente tóxicos. La distribución y comportamiento geoquímico general de estos elementos, en los cinco depósitos de relaves, son descritos en ítem 5.2; asimismo, la distribución y comportamiento geoquímico detallado en la trinchera LC-I y en los sondajes Auger son descritos como ítems 5.3 y 5.4 respectivamente.

Al existir escaso conocimiento sobre el contenido químico de los relaves en el Perú, se considera relevante presentar, de manera general, la distribución y comportamiento geoquímico de los otros 44 elementos analizados, información que pueden servir de guía para estudios de relaves similares y es desarrollada en el anexo 7.

La distribución de las muestras empleadas en cada evaluación es presentada en la figura 5.1.

Los resultados geoquímicos de los relaves La Ciénaga se caracterizan por configurar "distribuciones estadísticas normales", para la mayoría de elementos analizados y "asimétricas positivas" para el As, Cr, Sc, Ag, Pb, Ti y V, a excepción del Al y Cd, que muestran más de una población (anexo 7).

Para analizar la distribución de elementos en los depósitos de la Ciénaga, se han determinado rangos geoquímicos para cada uno, considerando la media (X), como el valor promedio normal, y a partir de este valor normal rangos con ± 1 , ± 2 y ± 3 desviaciones estándar (SD). Los valores fuera de estos rangos constituyen valores atípicos o anomalías y han sido retirados para calcular la media y la desviación estándar de cada elemento, pero son considerados en los mapas y descripciones elementales; asimismo, a cada rango se le ha asignado un color distintivo para visualizar las distribuciones geoquímicas y dado un nombre cualitativo a cada rango (cuadro 5.3).

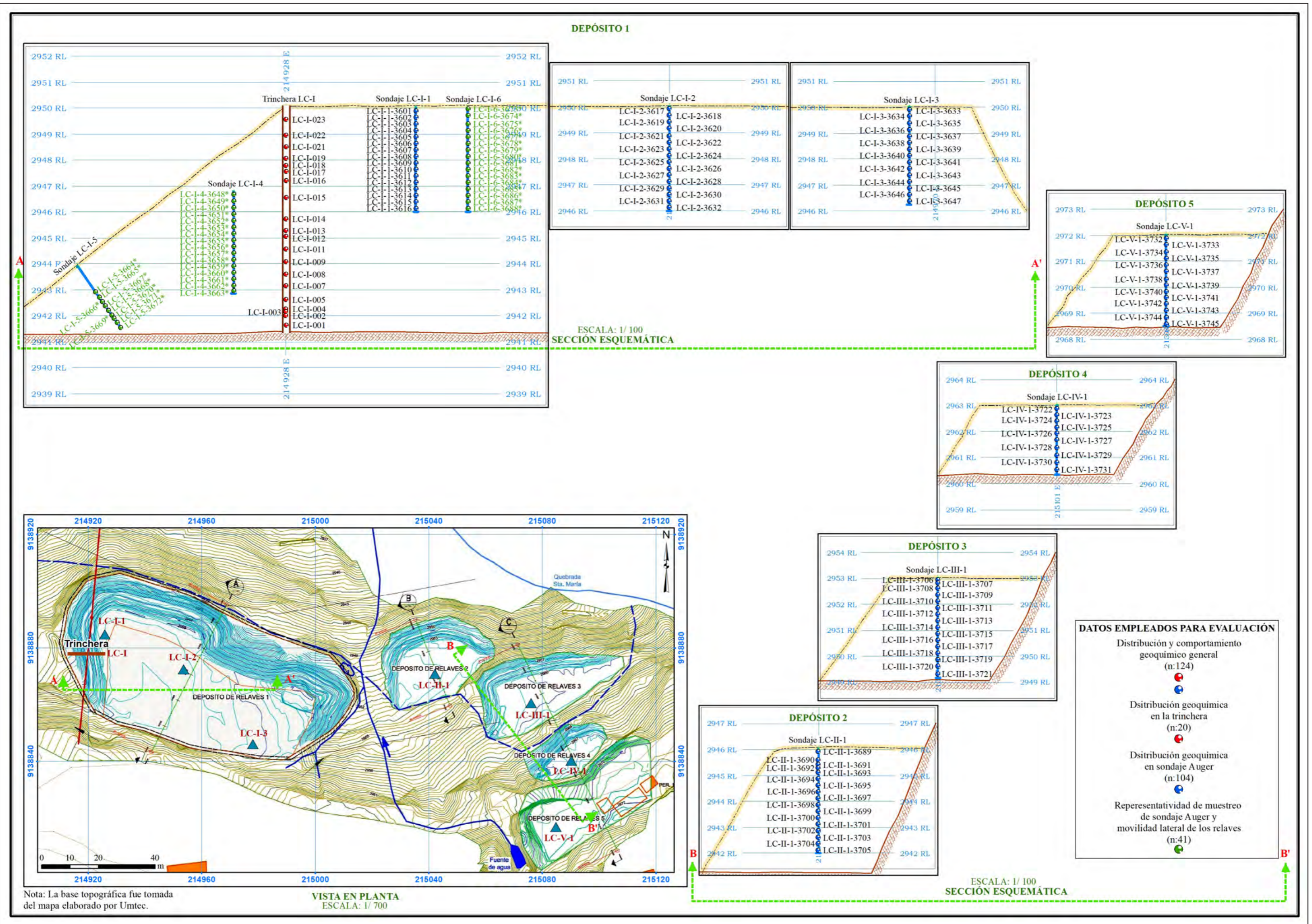


Figura 5.1 Mapa de ubicación de muestras de relaves por estaciones y tipos de evaluaciones realizadas

Cuadro 5.3
Rangos geoquímicos cualitativos para muestras de relaves

		Rango cuantitativo	Rango cualitativo
Valor normal		< X - 3 SD	Anomalía negativa
		X - 3 SD	Fuertemente bajo
		X - 2 SD	Moderadamente bajo
		X - 1 SD	Ligeramente bajo
		X + 1 SD	Ligeramente alto
		X + 2 SD	Moderadamente alto
		X + 3 SD	Fuertemente alto
		> X + 3 SD	Anomalía positiva

5.2 DISTRIBUCIÓN Y COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO GENERAL

Evaluación realizada en base a 124 muestras procedentes de una trinchera y siete sondajes Auger, tres de los cuales se realizaron en el depósito I y los cuatro restantes en los depósitos de relaves II, III, IV y V (figura 5.1), para el Au, Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Pb, S, Sb y Zn.

Los resultados geoquímicos reportan contenidos de Au en todas las muestras de relaves de los cinco depósitos, entre 0.70 y 2.56 ppm Au, junto a concentraciones muy altas de As (5184 a 15 359 ppm) y Pb (1250 a 15 009); asimismo, los relaves presentan contenidos destacados en Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, S, Sb y Zn que estarían asociados a la mineralización del área de La Ciénaga.

El análisis de índices de correlación no definió elementos correlacionados que sí como característica para todos

los depósitos de relaves, aunque sí para algunos tramos muestreados; es posible que el tratamiento metalúrgico haya roto la relación entre elementos al disgregar los minerales y liberar los elementos de interés, quedando pendiente de investigación.

5.2.1 Distribución geoquímica del oro (Au)

Los resultados analíticos de oro reportaron valores que van de 0.70 a 2.56 ppm Au, correspondiendo el valor más bajo a la muestra LC-V-1-3742 tomada en el depósito V, y el valor más alto a la muestra LC-I-001 recolectada en la base del flanco oeste del depósito I.

Los valores de Au, en general, muestran una distribución normal simétrica con tres (03) valores atípicos >2.06 ppm Au, que salen de la tendencia general y que corresponden a muestras tomadas a profundidades mayores a los 4.70 m procedentes de la trinchera LC-I, en el flanco oeste del depósito I (figura 5.2).

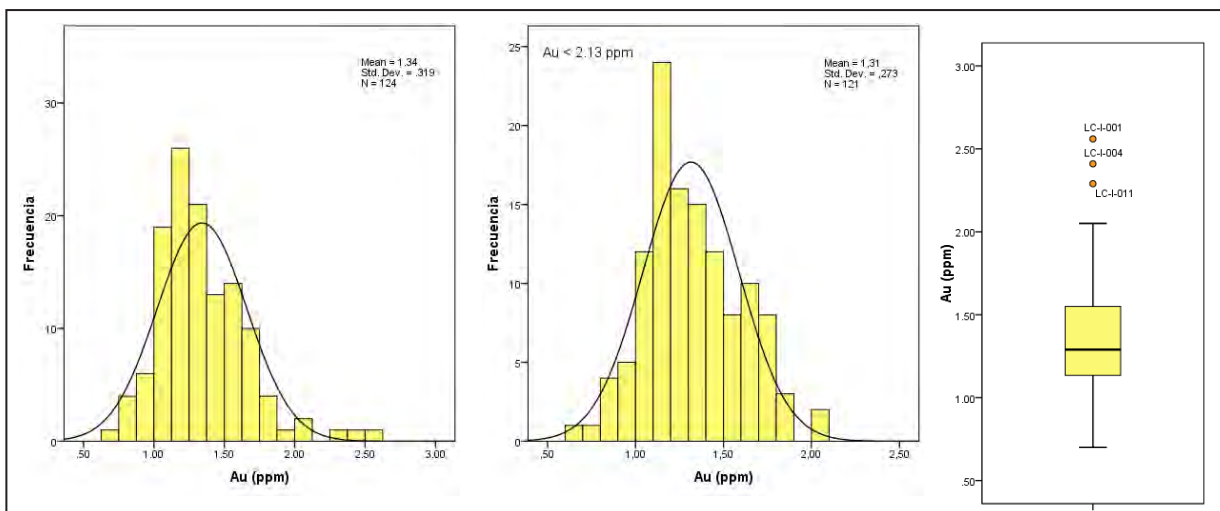


Figura 5.2 Gráfico de caja e histogramas de distribución de Au. Izquierda y centro con tres valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

Retirando los valores atípicos (> 2.13 ppm Au), los valores normales o de fondo han sido calculados en 1.31 ± 0.27 ppm Au ($X \pm 1$ SD). Considerando el total de resultados, el promedio de

Au asciende a 1.34 ppm Au, para los cinco depósitos de relaves La Ciénaga. Los valores de cada rango de concentración son mostrados en el cuadro 5.4.

Cuadro 5.4

Rangos geoquímicos para Au – Relaves mineros La Ciénaga

Rango cuantitativo	Au (ppm)	Rango cualitativo
X - 3 SD	[0.70 - 0.76]	Fuertemente bajo
X - 2 SD	[0.77 - 1.03]	Moderadamente bajo
X - 1 SD	[1.04 - 1.30]	Ligeramente bajo
X + 1 SD	[1.31 - 1.59]	Ligeramente alto
X + 2 SD	[1.60 - 1.86]	Moderadamente alto
X + 3 SD	[1.87 - 2.13]	Fuertemente alto
> X + 3 SD	[2.29 - 2.56]	Anomalía positiva

Si bien el Au describe una distribución normal, esta no es totalmente homogénea en los cinco depósitos, que alcanza mayores concentraciones en los niveles inferiores de la trinchera LC-I (flanco oeste del depósito I), para profundidades > 4.7 m (figura 5.3). No se tiene certeza de que estas mayores

concentraciones se extiendan a todo el depósito I, pero podría darse según los reportes mencionados por Morche (2017) para los extremos norte y este del depósito en donde obtuvo valores en torno a 2 ppm Au, para estos niveles.

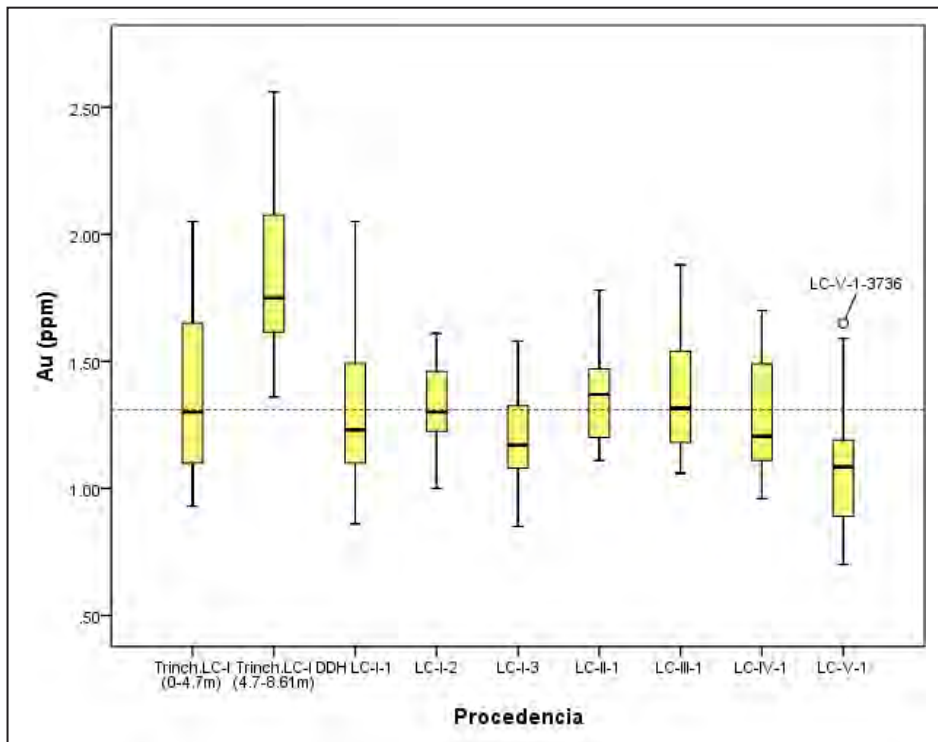


Figura 5.3 Gráfico de cajas para Au por labores de muestreo – Muestras de relaves

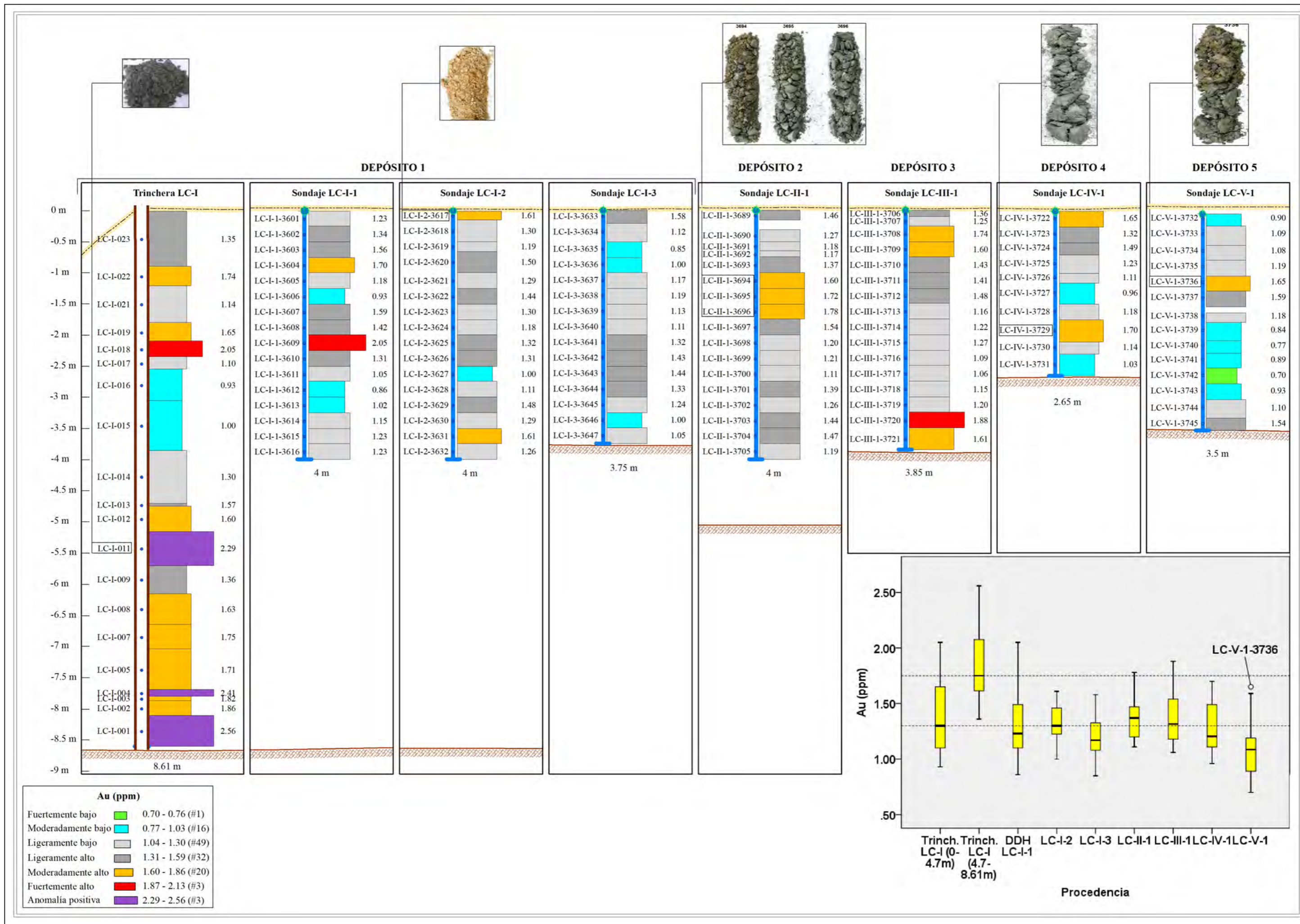


Figura 5.4 Distribución geoquímica de Au (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

Esta diferencia de concentraciones estaría dada por el material de procedencia, de acuerdo a la información verbal de los lugareños. Los relaves del nivel profundo del depósito serían producto del tratamiento de minerales procedentes de la zona mineralizada San Lorenzo, ubicada cotas arriba de La Ciénaga, explotadas por la Cía. Minera Marañón. Visualmente, en este nivel predominan los relaves de color gris azulino, posiblemente por una mayor presencia de arsenopirita, tal como reportan los análisis de difracción de rayos "x". Los relaves hasta los 4.7 m de profundidad aproximadamente procederían de la zona mineralizada Santa María (información verbal de los pobladores), ubicada cotas abajo de La Ciénaga; visualmente predominan relaves de color gris verdoso oscuro por mayor presencia de pirita.

La distribución espacial del Au (figura 5.4 y mapa 4) permite visualizar concentraciones moderadas, altas y anómalas, en tramos continuos en el flanco oeste del depósito I (trincheras LC-I), principalmente en los niveles más profundos (>4.7m). Lateralmente, la intensidad de las concentraciones de Au, para profundidades <4m, se extienden al sondaje LC-I-1 (± 8

m al este de la trincheras), no continuando para la zona central (LC-I-2) ni extremo este del depósito I (LC-I-3); incluso, en este último, las concentraciones de Au son menores. A excepción de la trincheras, no se tiene registros de muestreos a profundidades mayores a los 4 m, desconociéndose la continuidad lateral del enriquecimiento de Au para todo el depósito I.

Para los demás depósitos, se registran algunos horizontes aislados con concentraciones moderadas y altas en Au. En el depósito V, a pesar de contener una muestra con concentración moderada, el predominio es de valores bajos e incluso anomalías negativas.

El contenido de Au, diferenciado en dos niveles para la trincheras LC-I y para cada sondaje, es resumido en el cuadro 5.5, presentándose el promedio absoluto y el promedio ponderado con la longitud de muestreo, este último con mayor influencia en la trincheras LC-I, en cuanto el muestreo fue selectivo; estos cálculos incluyen todos los valores atípicos en cuanto estos son característicos del tramo inferior de la trincheras LC-I, no sesgando los resultados para el resto de depósitos.

Cuadro 5.5

Promedio de Au en trincheras y sondajes

Procedencia	Depósito relaves	Intervalo de muestreo(m)	Promedio Absoluto Au (ppm)	Prom.Pond. Au (ppm)	Min.Au (ppm)	Máx.Au (ppm)	Profundidad relavera (m)
Trinch. LC-I (Nv. Superior)	I	0 – 4.70	1.36	1.28	0.93	2.05	8.61
Trinch. LC-I (Nv. Inferior)	I	4.70 – 8.61	1.87	1.87	1.36	2.56	
LC-I-1	I	0 – 4	1.3	1.3	0.86	2.05	
Sond. LC-I-2	I	0 – 4	1.32	1.32	1	1.61	
Sond. LC-I-3	I	0 - 3.75	1.2	1.19	0.85	1.58	
Sond. LC-II-1	II	0 – 4	1.37	1.39	1.11	1.78	5*
Sond. LC-III-1	III	0 - 3.85	1.37	1.38	1.06	1.88	3.85
Sond. LC-IV-1	IV	0 - 2.65	1.28	1.28	0.96	1.7	2.65
Sond. LC-V-1	V	0 - 3.50	1.1	1.1	0.7	1.65	3.5

* Morche (2017)

5.2.2 Distribución geoquímica del arsénico (As)

Los resultados analíticos de arsénico reportaron valores que van de 5184 a 15 359 ppm As, correspondiendo el valor más bajo a la muestra LC-I-3-3647 tomada en el depósito III, y el valor más alto a la muestra LC-I-008 recolectada en la base del flanco oeste del depósito I.

Los valores de As, en general, muestran una distribución normal simétrica con nueve (09) valores atípicos >12 000 ppm As, que salen de la tendencia general; cinco de estas muestras han sido tomadas a profundidades mayores a los 4.70 m procedentes

de la trincheras LC-I, en el flanco oeste del depósito I (figura 5.5 y mapa 5).

Retirándose los valores atípicos (> 12 000 ppm As), el rango de valores normales o de fondo asciende a 7868 ± 1126 ppm As, considerando $X \pm 1$ SD. Considerando el total de resultados, el promedio de As asciende a 8282 ppm As, para los cinco depósitos de relaves La Ciénaga.

Al igual que para el Au, el As presenta una mayor concentración para profundidades > 4.7 m (figura 5.6) en el flanco oeste del depósito I (Trincheras LC-I).

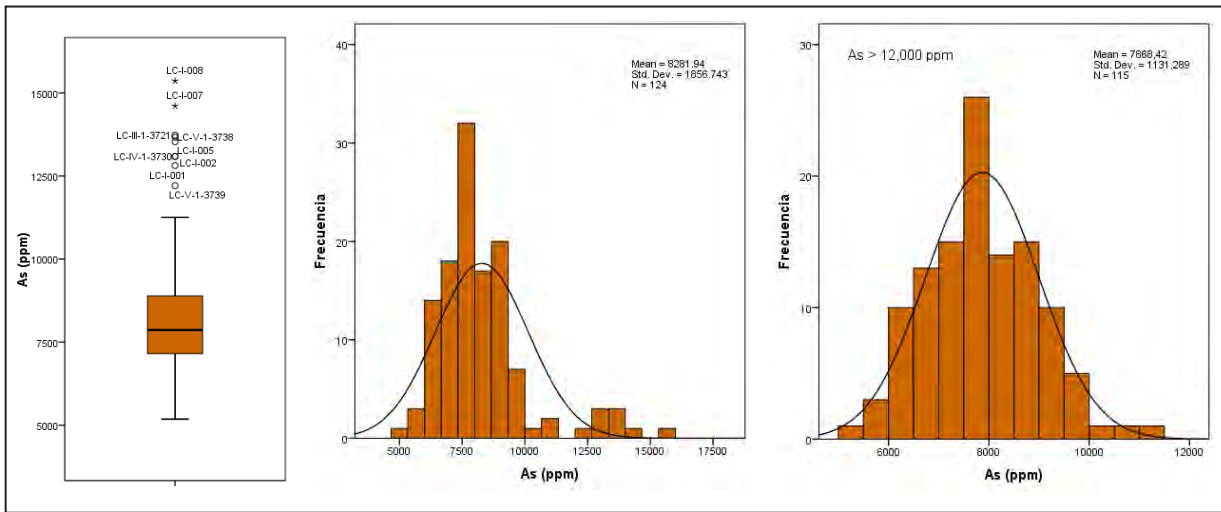


Figura 5.5 Gráfico de caja e histogramas de distribución de As. Izquierda y centro con nueve valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

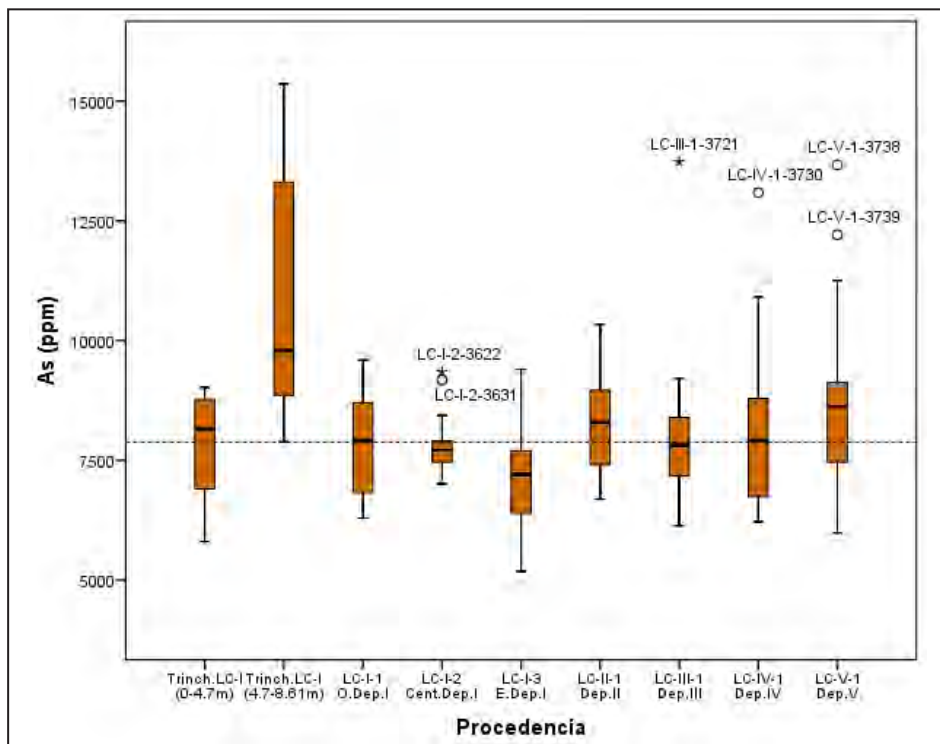


Figura 5.6 Gráfico de cajas para As por labores de muestreo – Muestras de relaves

En el cuadro 5.6, se presenta el promedio ponderado con la longitud de muestreo para el As, diferenciados en dos niveles de la trinchera LC-I. Se consideran todos los valores incluyendo los atípicos en cuanto estos son característicos del tramo inferior de la trinchera LC-I, no sesgando los resultados para el resto de depósitos.

Las concentraciones fuertes y anómalas en As, definen el tramo inferior (> 4.7m) de relaves del sector oeste del depósito I con concentraciones que van de 7885 a 15 359 ppm As. Otras concentraciones anómalas (figura 5.7), en este elemento se

registran para la base del depósito III y IV, así como en dos niveles (centro y base) del depósito V. Al igual que para el Au y como se verá en los siguientes ítems, para la Ag y Pb, las concentraciones en estos elementos disminuyen notablemente en el flanco este del depósito I (LC-I-3).

Desde el punto de vista ambiental, el total de los resultados de As se encuentran por encima de los ECA para suelos del 2017, incluso para los asignados para el uso industrial (140 ppm), representando de 37 a 110 veces por encima de este valor.

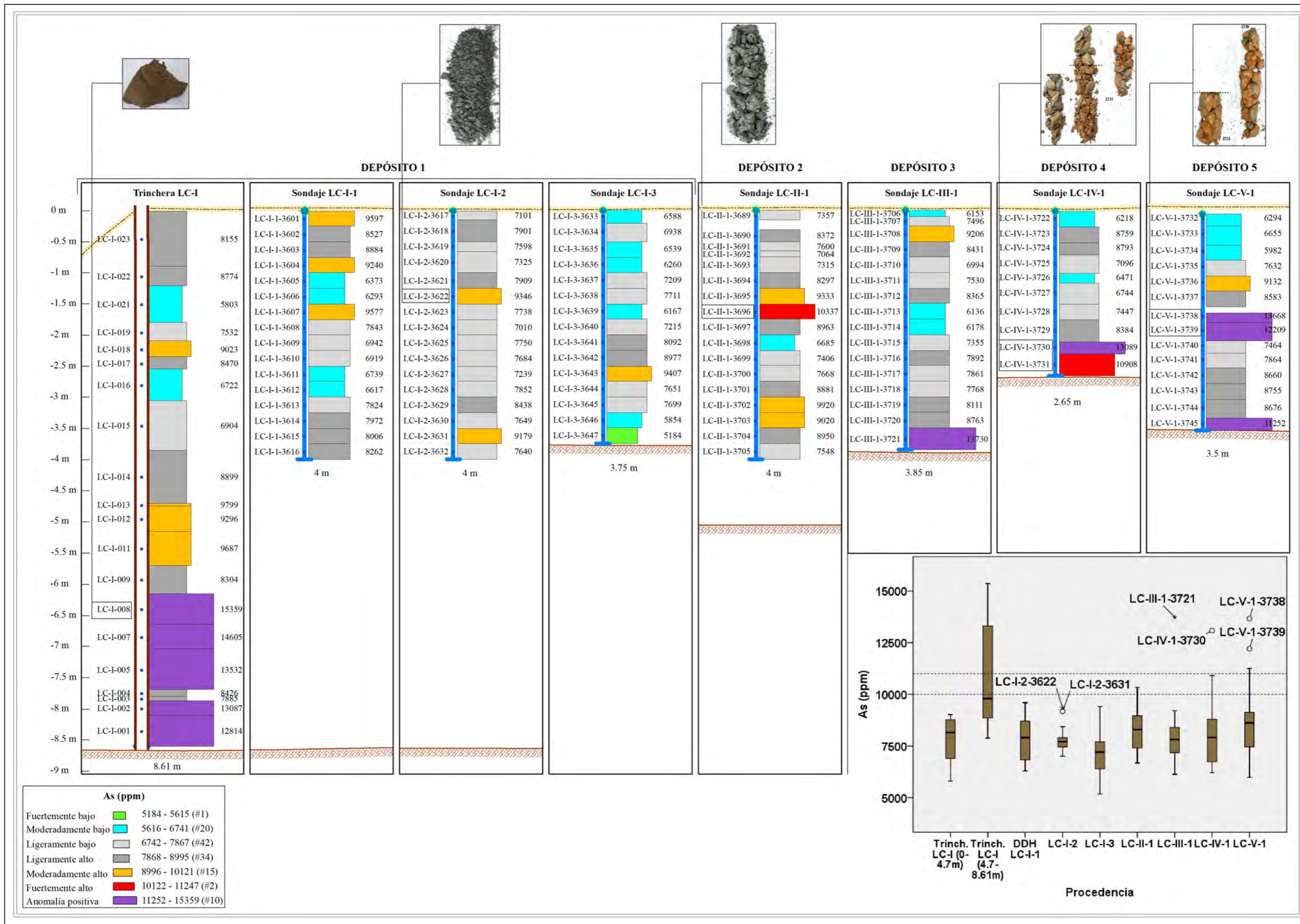


Figura 5.7 Distribución geoquímica de As (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

Cuadro 5.6
Promedio de As por labores de muestreo

Procedencia	Dep. de relaves	Intervalo de muestreo (m)	Promedio Pond. @ Long. As (ppm)	Promedio Absoluto As (ppm)	Min. As (ppm)	Máx. As (ppm)	Profundidad total relavera (m)
Trinchera LC-I (nivel superior)	I	0.00 - 4.70	7683	7809	5803	9023	8.61
Trinchera LC-I (nivel profundo)	I	4.70 - 8.61	11 888	11 163	7885	15 359	
Sondaje LC-I-1	I	0.00 - 4.00	7851	7851	6293	9597	
Sondaje LC-I-2	I	0.00 - 4.00	7848	7835	7010	9346	
Sondaje LC-I-3	I	0.00 - 3.75	7171	7166	7171	9407	
Sondaje LC-II-1	II	0.00 - 4.00	8365	8277	6685	10 337	5*
Sondaje LC-III-1	III	0.00 - 3.85	8232	7998	6136	13 730	3.85
Sondaje LC-IV-1	IV	0.00 - 2.65	8375	8391	6218	13 089	2.65
Sondaje LC-V-1	V	0.00 - 3.50	8667	8773	5982	13 668	3.5

5.2.3 Distribución geoquímica del plomo (Pb)

Los resultados analíticos de plomo reportaron valores que van de 1250 a 15 009 ppm Pb, correspondiendo el valor más bajo a la muestra LC-I-3-3647, coincidentemente con el valor más bajo

en As, tomada en el depósito III, y el valor más alto a la muestra LC-V-1-3739, recolectada en el depósito V.

Los valores de Pb, en general, muestran una distribución normal simétrica con diez (10) valores atípicos >8000 ppm Pb, que salen de la tendencia general (figura 5.8).

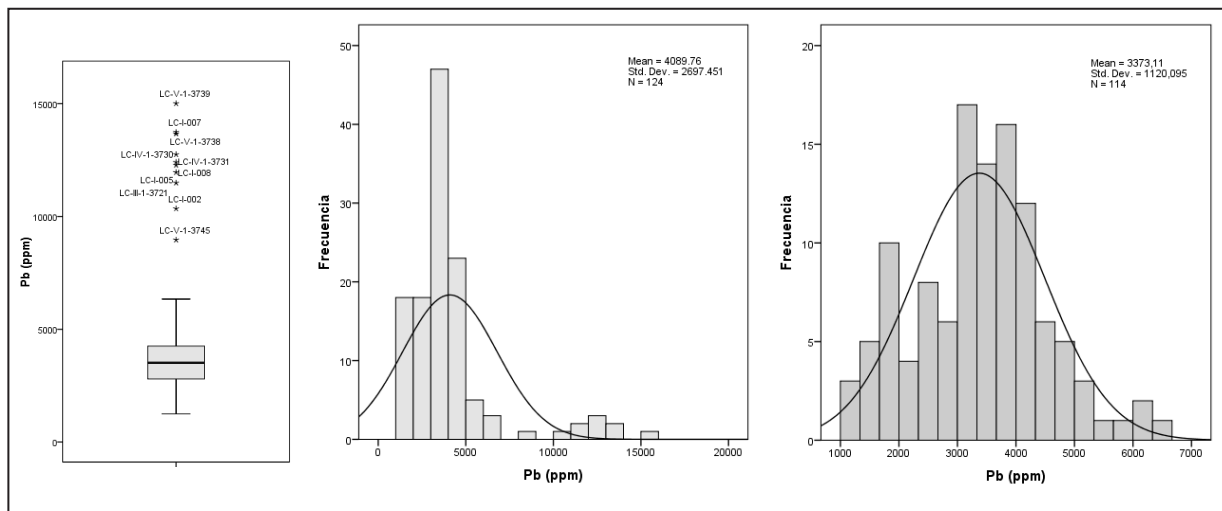


Figura 5.8 Gráfico de caja e histogramas de distribución de Pb. Izquierda y centro con diez valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

Retirándose los valores atípicos (> 8000 ppm Pb), el valor normal o de fondo es de 3373 ± 1115 ppm Pb, considerando $X \pm 1SD$. Para los cinco depósitos de relaves La Ciénaga, el promedio de Pb asciende a 4090 ppm Pb.

Al igual que para el Au y As, el Pb presenta una mayor concentración a profundidades > 4.7 m (figura 5.9 y mapa 9), en el flanco oeste del depósito I (Trinchera LC-I).

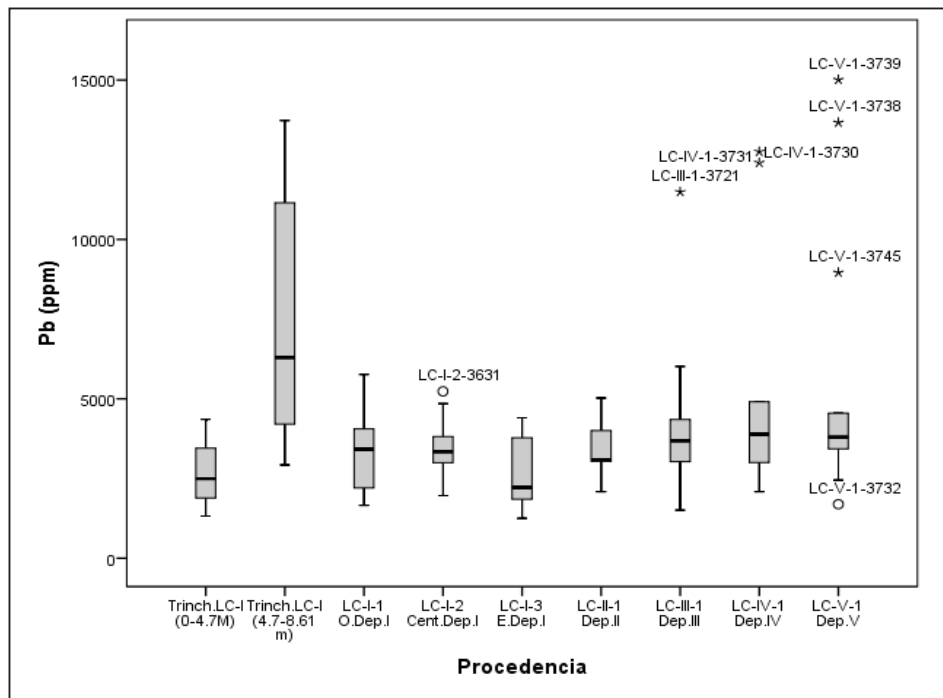


Figura 5.9 Gráfico de cajas para Pb por labores de muestreo – Muestras de relaves

En el cuadro 5.7, se presenta el promedio ponderado con la longitud de muestreo para el Pb, diferenciados en dos niveles en la trinchera LC-I y en sondajes. Se consideran todos los valores incluyendo los atípicos.

Cuadro 5.7

Promedio de Pb por labores de muestreo

Procedencia	Dep. de relaves	Intervalo de muestreo (m)	Promedio Pond. @ Long. Pb (ppm)	Promedio Absoluto Pb (ppm)	Min. Pb (ppm)	Máx. Pb (ppm)	Profundidad Total relavera (m)
Trinchera LC-I (nivel superior)	I	0.00 - 4.70	2557	2627	1320	4357	8.61
Trinchera LC-I (nivel profundo)	I	4.70 - 8.61	8006	7359	2925	13 733	
Sondaje LC-I-1	I	0.00 - 4.00	3354	3354	1660	5763	
Sondaje LC-I-2	I	0.00 - 4.00	3444	3463	1964	5234	
Sondaje LC-I-3	I	0.00 - 3.75	2679	2698	1250	4407	5.00*
Sondaje LC-II-1	II	0.00 - 4.00	3507	3464	2085	5024	
Sondaje LC-III-1	III	0.00 - 3.85	4234	4021	1508	11 489	3.85
Sondaje LC-IV-1	IV	0.00 - 2.65	5506	5398	2088	12 753	2.65
Sondaje LC-V-1	V	0.00 - 3.50	5282	5415	1694	15 009	3.5

El Pb notoriamente está enriquecido en los niveles inferiores (> 4.7 m) de la trinchera LC-I, en el extremo oeste del depósito I, registrándose valores moderados, altos y anómalos en este elemento. Se registran algunos niveles anómalos en este elemento en la base del depósito III, IV y dos niveles en el V coincidiendo con anomalías de Ag.

En el extremo este del depósito I (LC-I-3), las concentraciones de Pb decrecen notoriamente (figura 5.10).

En referencia a la evaluación ambiental, el total de resultados tienen concentraciones por encima de los estándares de calidad (ECA) de suelos decretados en 2017 por el Ministerio de Agricultura del Perú, incluso para los asignados para el uso industrial de suelos (800 ppm), representando de 2 a 110 veces este valor ECA.

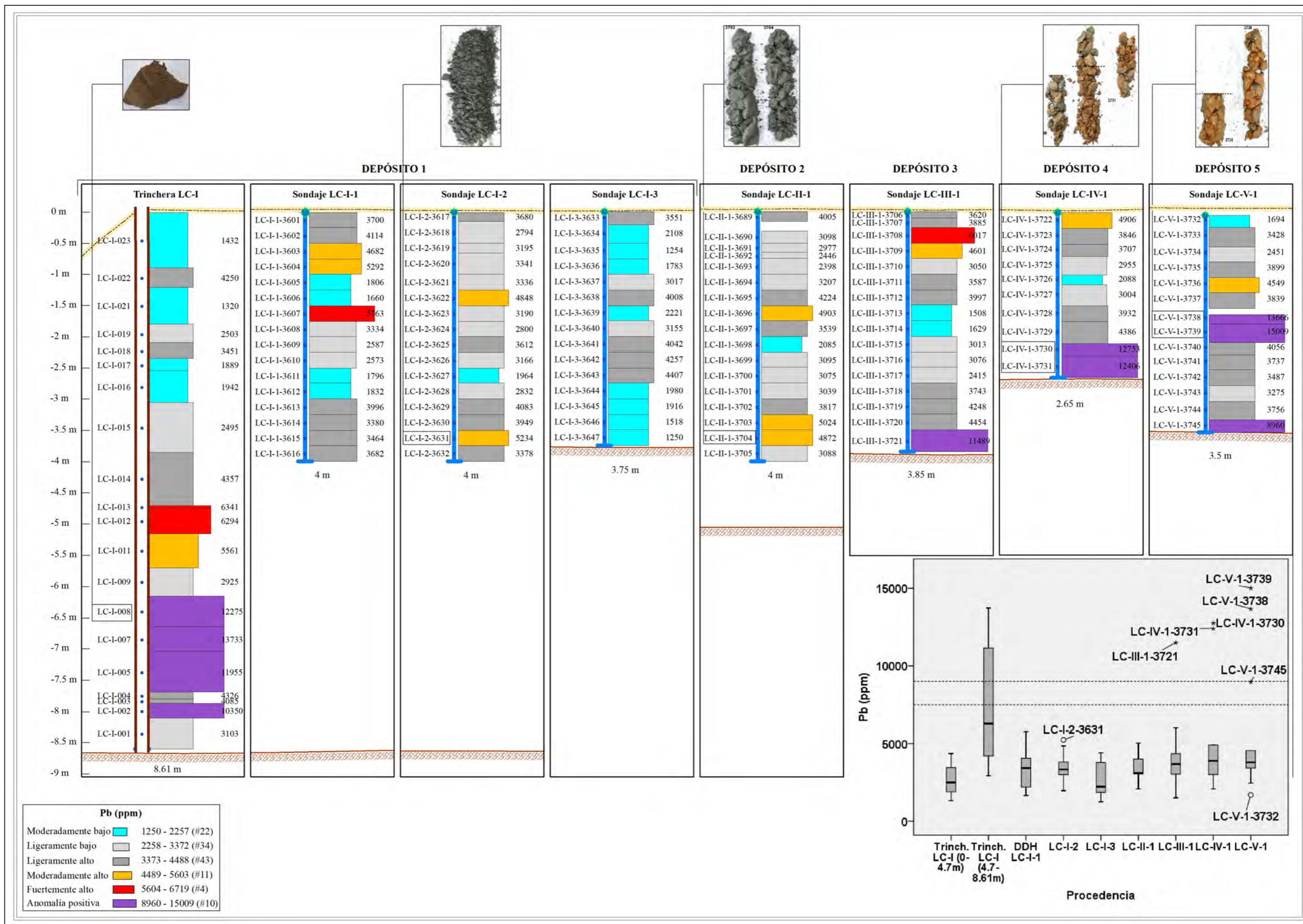


Figura 5.10 Distribución geoquímica de Pb (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

5.2.4 Distribución geoquímica de elementos asociados a la mineralización (Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, S, Sb y Zn)

Otros ocho elementos, además del As y el Pb, pueden ser considerados como asociados a la mineralización, cuyo producto residual de tratamiento comprenden a los relaves La Ciénaga por estar presentes conjuntamente al Au, As y Pb y por ser

constituyentes de minerales metálicos. Estos elementos son: Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, S, Sb y Zn.

La Ag reporta valores que van desde el límite de detección inferior ($n: 20 < 2$ ppm) a 55.20 ppm, describiendo una distribución asimétrica positiva. Excluyendo nueve resultados atípicos (> 20 ppm), el contenido en plata asciende a 5.05 ± 3.42 ppm Ag (figura 5.11).

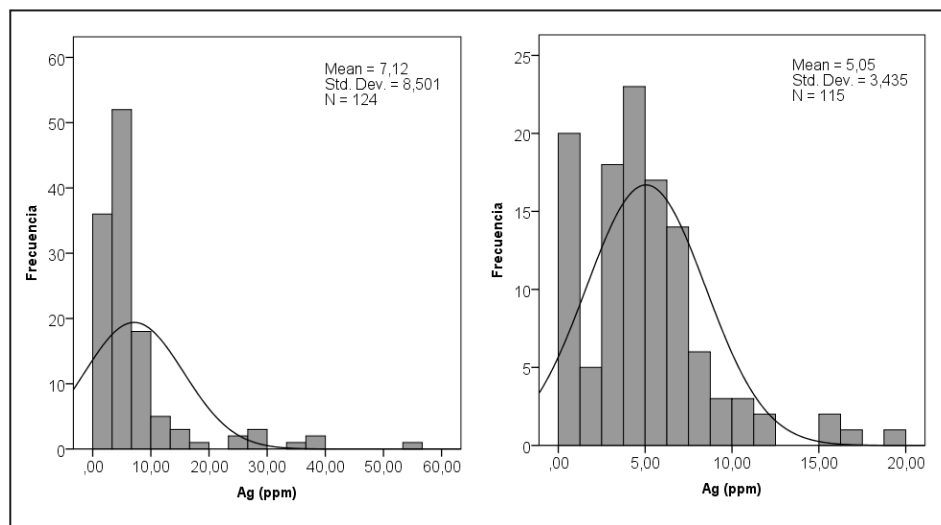


Figura 5.11 Histogramas de distribución de Ag. Izquierda con nueve valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

Este elemento está fuertemente concentrado de los 6.15 a 8.61 m de la trinchera LC-I y restringidamente en la base de los depósitos 3, 4 y 5 presentándose en este último también en el sector central (figura 5.15 y mapa 3). Asimismo, se registran concentraciones notablemente más bajas en el sector noroeste (Sondaje LC-I-1) y centro del depósito I (Sondaje LC-I-2). Este comportamiento es compartido con el Pb, presentándose enriquecidos o empobrecidos en los mismos tramos.

El Cd registra valores entre 15.3 y 163 ppm incluyendo cinco valores atípicos (>140 ppm), cuyo promedio general asciende a 57.82 ppm

Su distribución muestra dos poblaciones (figura 5.16), una inferior (Población 1) entre 15.3 y 39.99 ppm, y una superior (Población 2) entre 40 y 101 ppm. La población 1 se ubica en el extremo occidental del depósito I (Trinchera LC-I y sondaje LC-I-1) y la población 2 en los relaves 2, 3, 4 y segmento superior del relave 5 (mapa 6), en horizontes asociados principalmente a As, Pb, Ag, Sb, Cu, Zn, S, Fe. Los valores atípicos se registran

en la base de los depósitos 3 y 4 así como en el sector medio depósito 5.

El Cu, en los relaves La Ciénaga, describe una distribución normal y está entre 61 y 437 ppm, con una concentración promedio de 131 ± 29 ppm (figura 5.17 y mapa 7); estas concentraciones no representan interés económico. Los valores más altos se ubican a partir de los 5.15 m en la trinchera LC-I y restringidamente en diversos niveles de las labores de muestreo entre los que destacan la base de los depósitos 3, 4 y 5.

En el caso del Fe, presenta una distribución normal, con concentraciones entre 4.70 a 13 % que incluyen ocho valores atípicos ≥ 10 % (figura 5.12). Las concentraciones más altas definen el tramo inferior de la trinchera LC-I y los niveles inferiores de los depósitos 3 y 4 (figura 5.18 y mapa 8), así como un nivel intermedio del relave 5. Se distinguen las menores concentraciones en este elemento en los sondajes LC-I-1, LC-I-2 y LC-I-3. El promedio para los cinco depósitos de relaves ha sido calculado en 7.02 ± 0.93 % Fe.

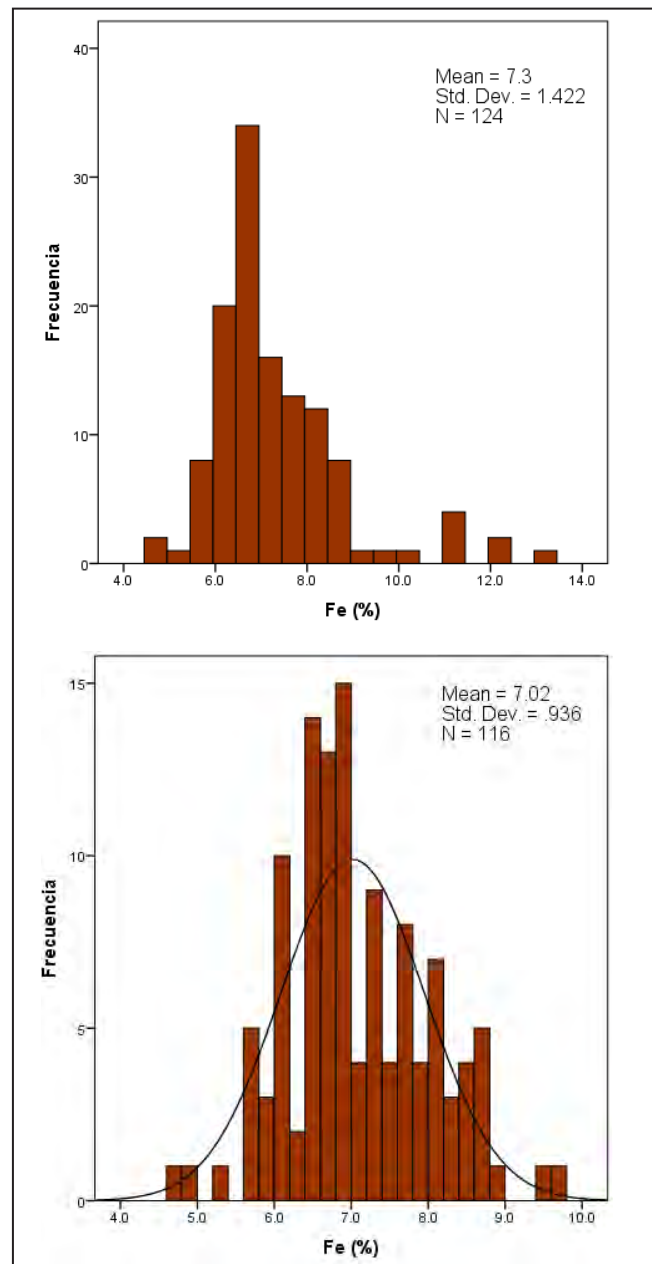


Figura 5.12 Histogramas de distribución de Fe. Izquierda con ocho valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

Para el caso de Hg, el total de resultados reportados por AGQ Labs Perú están debajo del límite de detección (<0.08 ppb), sin embargo, las 10 muestras analizadas en Ingemmet fueron cuantificadas.

Las 10 muestras proceden de la trinchera LC-I, ubicada en el flanco oeste del depósito I y reportan resultados entre 515 y 11 754 ppb con dos valores extremos correspondientes a 5020 y 11 754 ppb (figura 5.19); retirando estos dos valores, el promedio en Hg para la trinchera asciende a 1500 ppb Hg

pudiendo también estar presente en los otros cuatro depósitos de relaves.

Las concentraciones en S están entre 1.6 y 8.2 % y dan en promedio 4.7 ± 1.2 % configurando una distribución normal. Este elemento se caracteriza por presentar las concentraciones más altas en los tramos superiores de cada sondaje, pasando los niveles “alterados” superficiales, y concentraciones bajas en profundidad (figura 5.20 y mapa 10), a diferencia del comportamiento observado para el Au, As, Pb y otros elementos

asociados a la mineralización del entono. En la trinchera, considerando dos niveles (de 0 a 4.7 m y de 4.7 a 8.61), este incremento en los primeros niveles y decremento en profundidad se mantiene. El depósito V, en profundidad, es donde se registran las concentraciones más bajas de todos los depósitos.

El Sb se encuentra en los relaves La Ciénaga con concentraciones entre 12 y 197 ppm, con una muestra por debajo del límite de detección inferior (< 10 ppm), habiéndose calculado un promedio de 30 ± 10 ppm Sb, retirando 12 valores atípicos entre 65 y 197 ppm (figura 5.13).

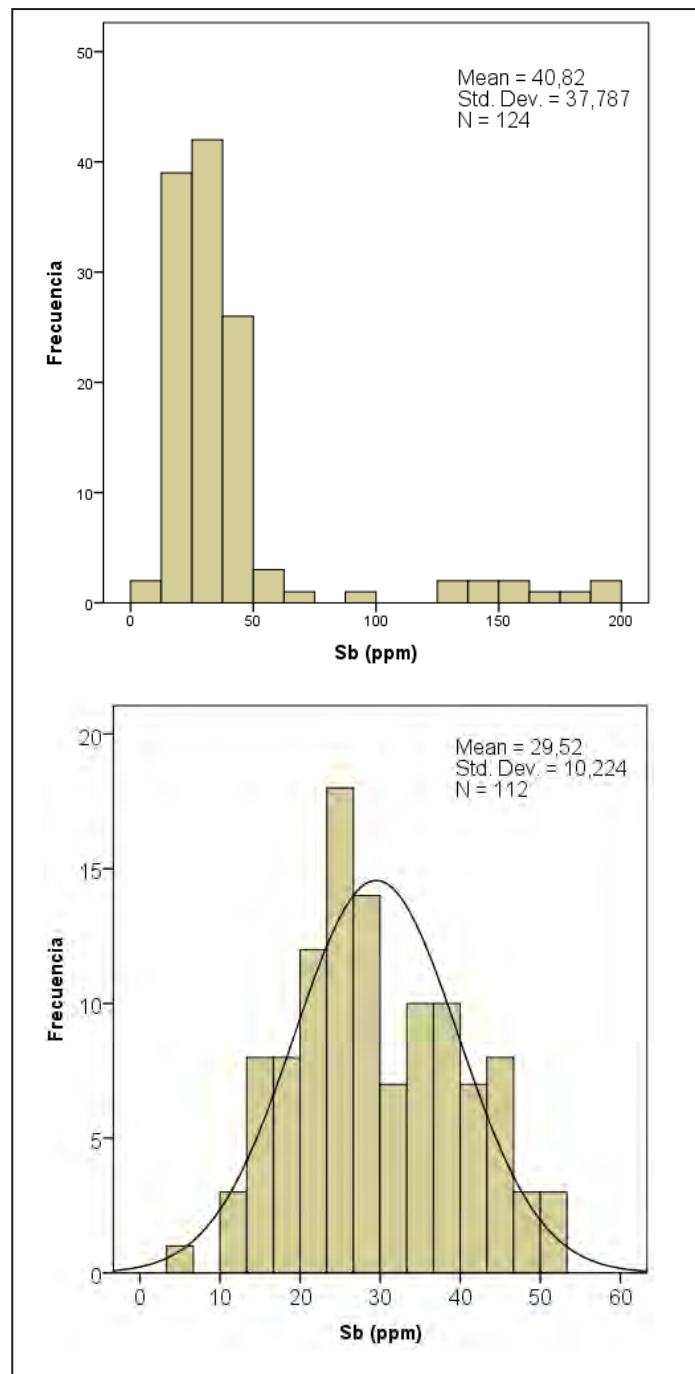


Figura 5.13 Histogramas de distribución de Sb. Izquierda con 12 valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

El Sb es el elemento que muestra una mayor relación con el Au, principalmente en el depósito I donde son coincidentes los valores más altos en estos elementos y, sin embargo, pareciera estar disociado de este en los depósitos IV y V en donde se registra Sb anómalo y Au en concentraciones moderadas y fuertemente bajas (figura 5.21 y mapa 11).

El Zn presenta concentraciones entre 405 y 3486 ppm, se distribuye con asimetría positiva con 11 valores atípicos > 3000 ppm que retirándolos dan concentraciones de 1386 ± 588

ppm en promedio para los relaves La Ciénaga (figura 5.14), contenidos que no representarían interés económico.

El Zn, de manera general, presenta concentraciones ligeras a moderadamente bajas, quedando restringidas las concentraciones moderadas, altas y anómalas a algunos tramos preferentemente aislados (figura 5.22 y mapa 12). El depósito V es el que presenta en promedio la mayor concentración en este elemento.

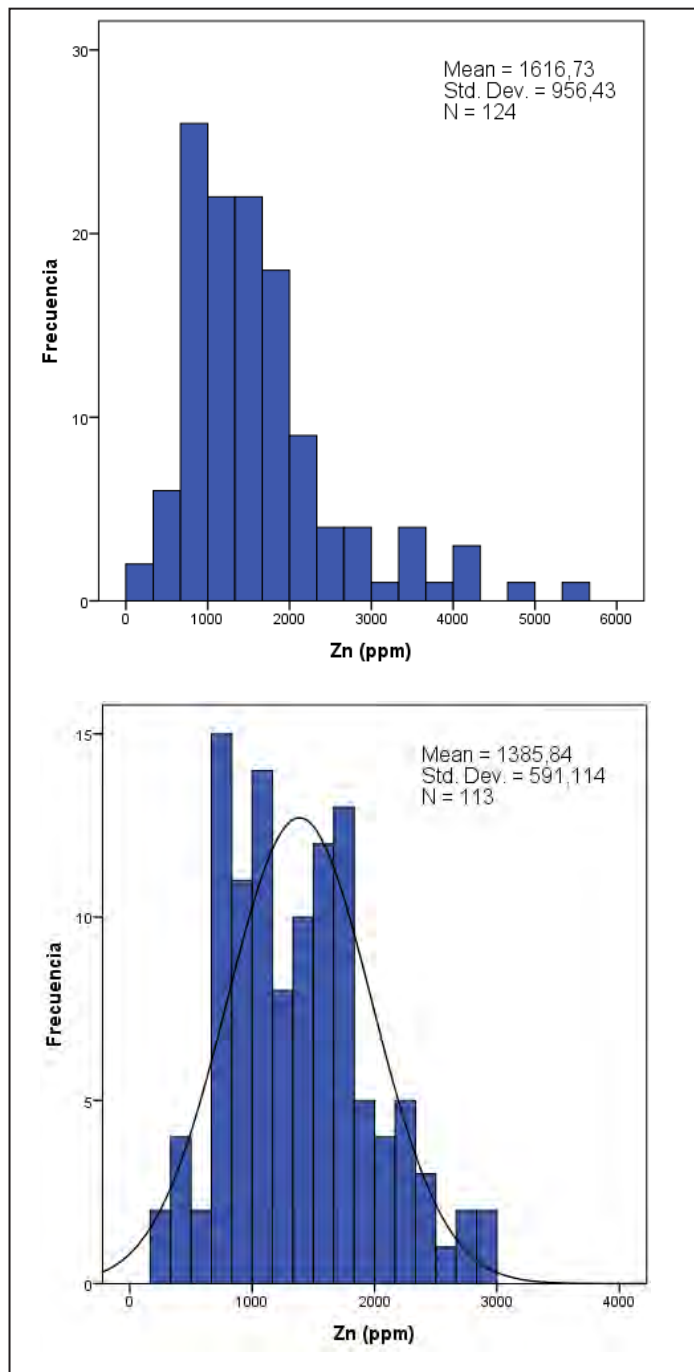


Figura 5.14 Histogramas de distribución de Zn. Izquierda con 11 valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves

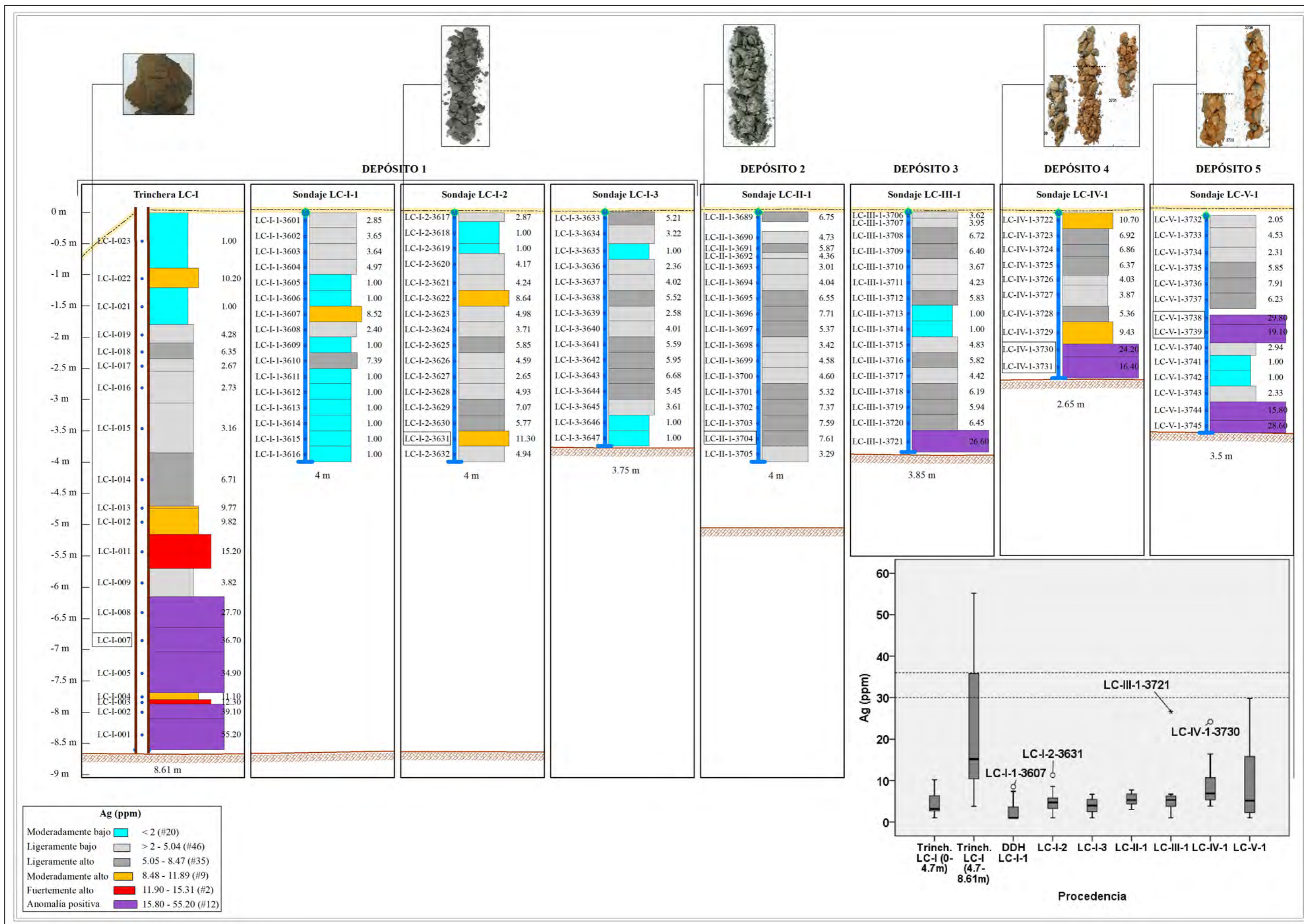


Figura 5.15 Distribución geoquímica de Ag (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

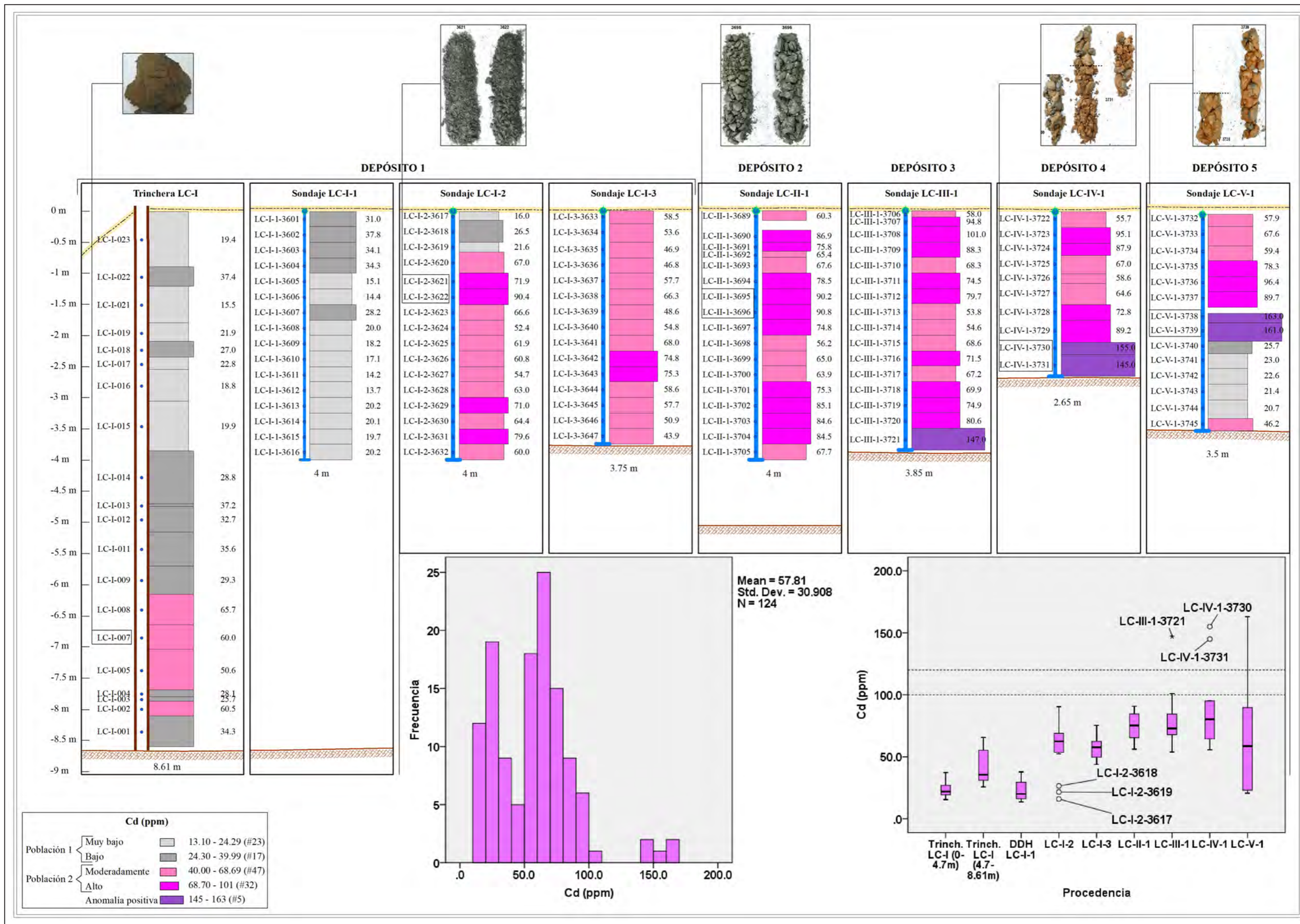


Figura 5.16 Distribución geoquímica de Cd (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

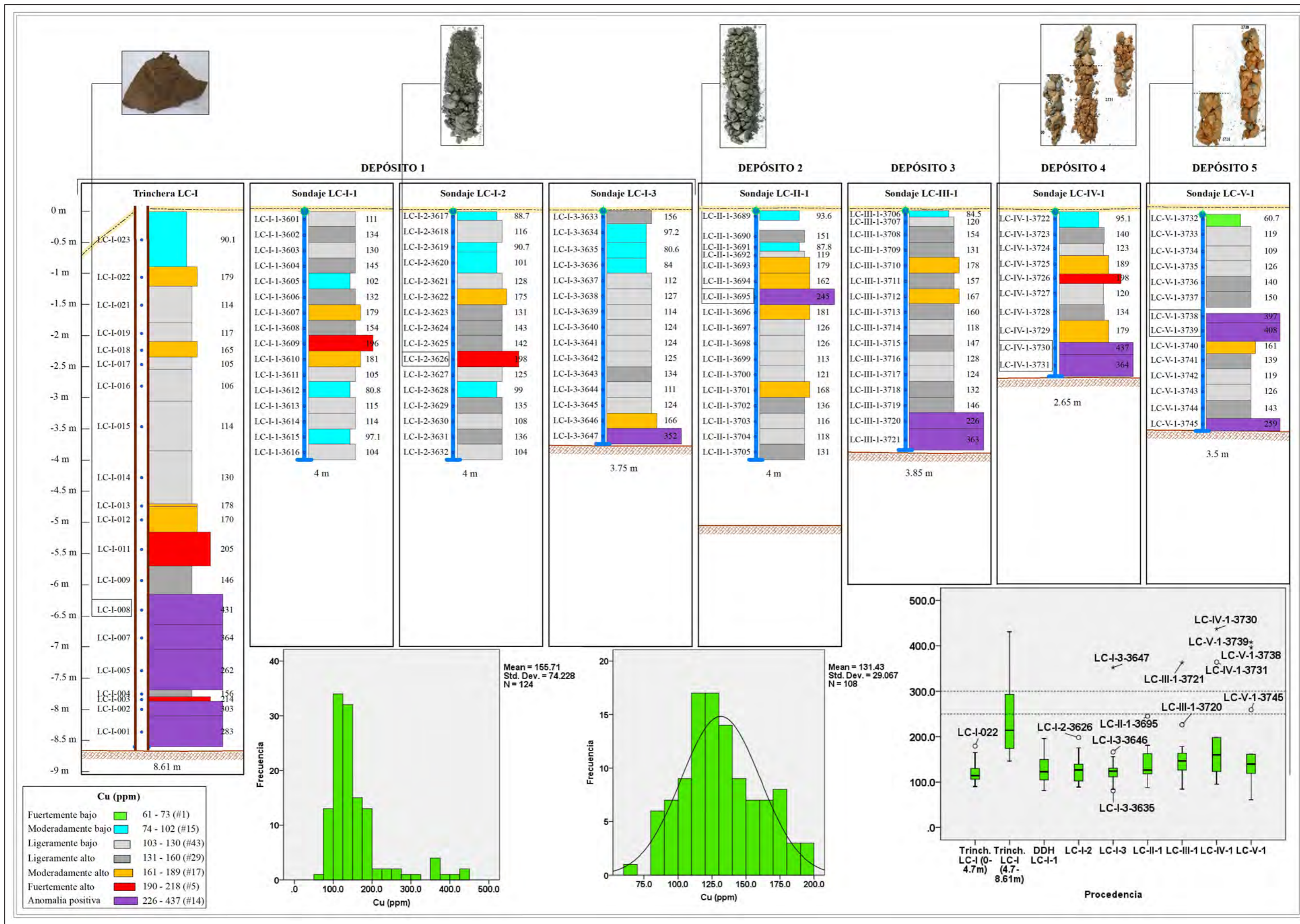


Figura 5.17 Distribución geoquímica de Cu (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

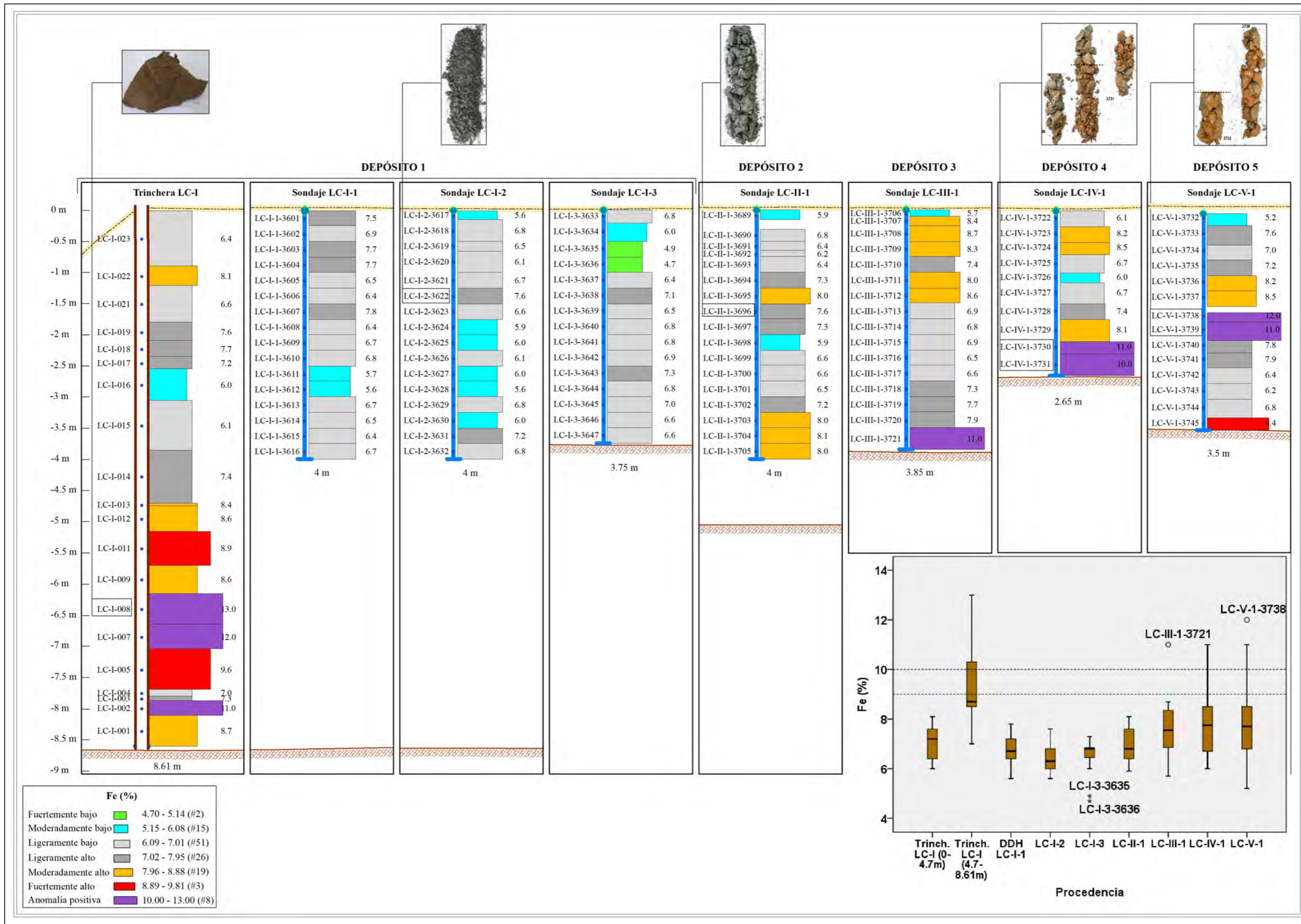


Figura 5.18 Distribución geoquímica de Fe (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

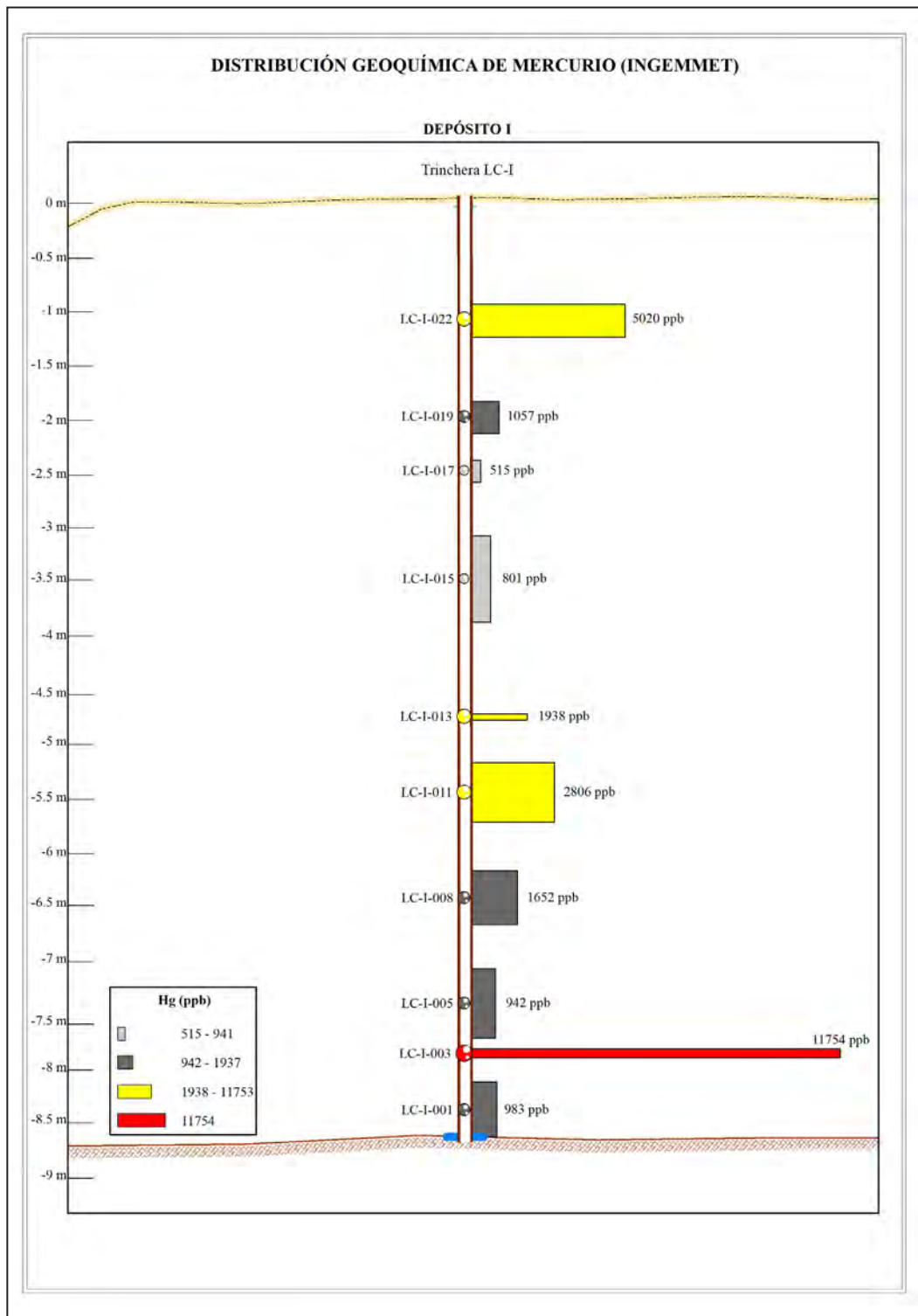


Figura 5.19 Distribución geoquímica de Hg (ppb) para los relaves mineros La Ciénaga

5.2.5 Distribución geoquímica consolidada

De forma integral es posible diferenciar dos (02) tramos y nueve (09) horizontes geoquímicos, definidos por la presencia de Au

con rangos de intensidades moderadas, altas y anómalas junto a otros elementos que estarían relacionados a minerales de mena del área; estos se sintetizan en el cuadro 5.8 y figuras 5.23 y 5.24.

Cuadro 5.8

Tramos y horizontes por Au (intensidad moderada, alta y anómala)

Tramo-Horizonte	Depósitos	Au	Elementos asociados	De - a (m)	Pot. (m)	Au(ppm)
Tramo 1	I	Au+	As ⁺ , Ag ⁺ , Cu ⁺ , Fe ⁺ , Pb ⁺ , S, Sb ⁺ , Zn	4.70 - 8.61	3.91	1.87
Tramo 2	II	Au	As, Cu, S	1.00 - 1.75	0.75	1.7
Horizonte 1 (H-1)	I	Au	As, Cu, S, Sb	1.80 - 2.35	0.55	1.85
Horizonte 2 (H-2)	I	Au	Ag, Cu, Fe, S, Sb, Zn	0.90 - 1.20	0.3	1.74
Horizonte 3 (H-3)	I	Au	As, Pb, Sb, Zn	3.50 - 3.75	0.25	1.61
Horizonte 4 (H-4)	I	Au		0.00 - 0.15	0.15	1.61
Horizonte 5 (H-5)	III	Au	As, Ag, Cu, Cd ⁺ , Fe ⁺ , Pb, Sb, Zn,	3.25 - 3.85	0.65	1.75
Horizonte 6 (H-6)	III	Au	As, Fe, Pb, Sb, S	0.25 - 0.75	0.5	1.67
Horizonte 7 (H-7)	IV	Au	Cu	1.75 - 2.10	0.35	1.7
Horizonte 8 (H-8)	IV	Au	Ag, Pb, Sb	0.00 - 0.25	0.25	1.65
Horizonte 9 (H-9)	V	Au	As, Pb, S, Fe	1.00 - 1.25	0.25	1.65

De estos destaca el tramo 1, ubicado en el segmento inferior de la trinchera LC-I (flanco oeste depósito I), entre los 4.70 m y los 8.61 m (3.91 m.), caracterizado por presentar concentraciones de Au moderadamente altas y anómalas de forma continua para los 3.91 m, contrastando con el resto de relaves junto a concentraciones notables y anómalas de As, Pb, Ag, Sb, Cu, S y Fe.

Las concentraciones en este tramo 1 son de: Au (1.36 - 2.56 ppm), Ag (3.82 - 55.2 ppm), As (7885 - 15 359 ppm), Cu (146 - 431), Fe (7 - 13%), Pb (2925 - 13 733 ppm) y Sb (43 - 197 ppm); muchos de estos valores corresponden a anomalías positivas.

Otras características de este tramo 1 son que los valores anómalos en Au, únicamente han sido registrados para este, así como la no continuidad de los valores altos y anómalos en Zn.

La extensión lateral de este tramo es desconocida en cuanto no se tienen registros de estas profundidades en el resto del depósito. Una descripción más detallada es presentada en el ítem 5.3

Los horizontes 2 y 3 (H-2 y H-3) se extienden lateralmente desde la trinchera LC-I hacia el sondaje LC-I-1.

Las concentraciones calculadas para el Au y para los elementos que estarían relacionados a la mineralización de la zona de La Ciénaga, se presentan en el cuadro 5.9, considerándose el promedio total de muestras, el promedio sin considerar los valores atípicos o anómalos y el promedio del total de las muestras ponderado con la longitud de muestreo. Mayor detalle y los datos del total de elementos analizados se presentan como anexo 6.

Cuadro 5.9

Síntesis de resultados químicos para Au y elementos relacionados a la mineralización

Orden	Elemento	Unidad	# Análisis	Min	Máx	Prom. Total	Prom. Sin atípicos	Prom. Pond. con longitud
1	Ag	ppm	124	< 2	55.2	7.12	5.05	7.85
2	As	ppm	124	5184	15 359	8,282	7868	8438
3	Au	ppm	124	0.7	2.56	1.34	1.31	1.35
4	Cd	ppm	124	13.7	163	57.81		55.2
5	Cu	ppm	124	60.7	437	156	131	159
6	Fe	%	124	4.7	13	7.3	7.02	7.39
7	Hg	ppb	10	515	11 754	2747	1746	1801
8	Pb	ppm	124	1250	15 009	4090	3373	4190
9	S	%	124	1.6	8.2	4.7		4.7
10	Sb	ppm	124	< 10	197	41	30	45
11	Zn	ppm	124	316	5611	1,617	1386	1571

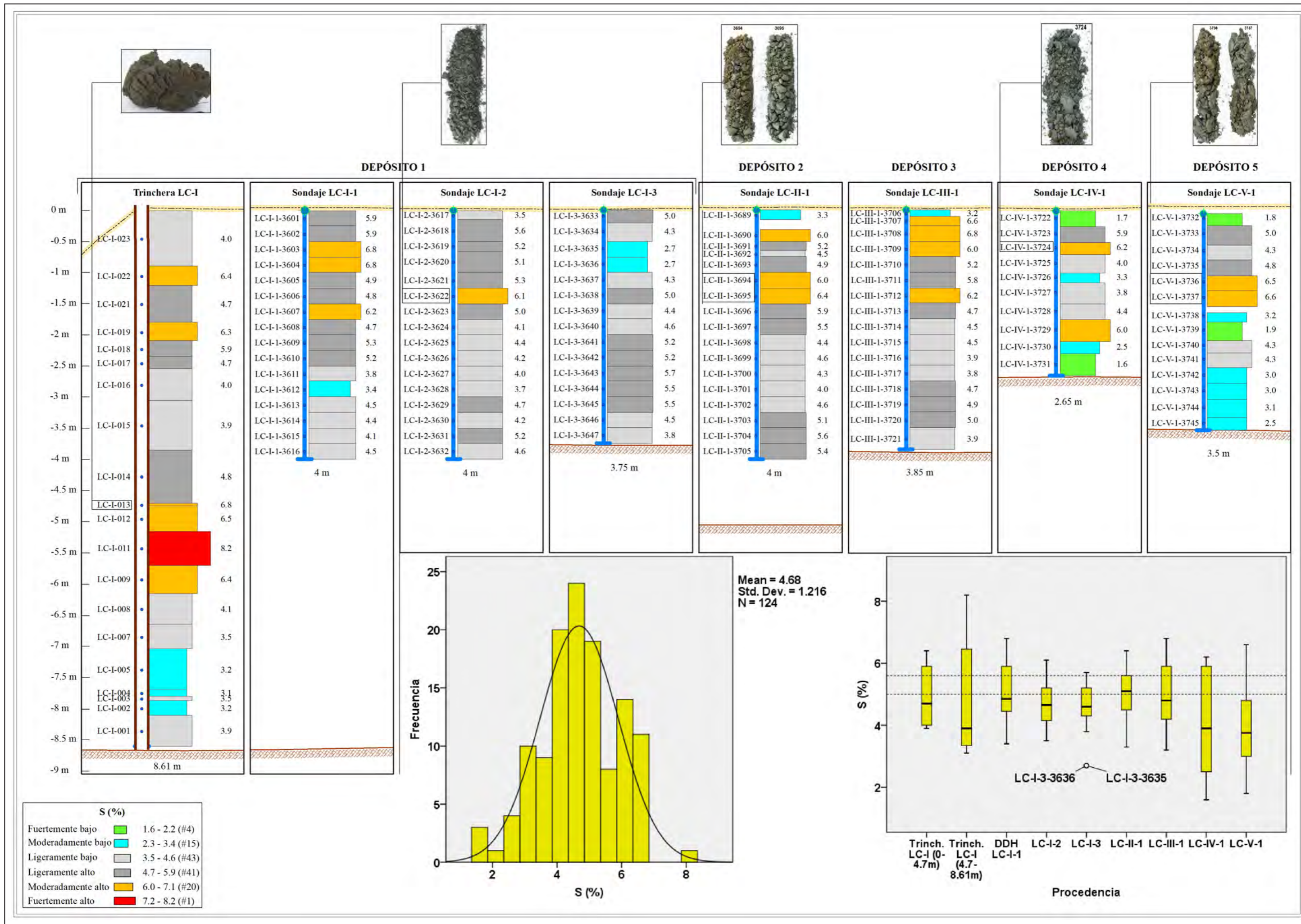


Figura 5.20 Distribución geoquímica de S (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

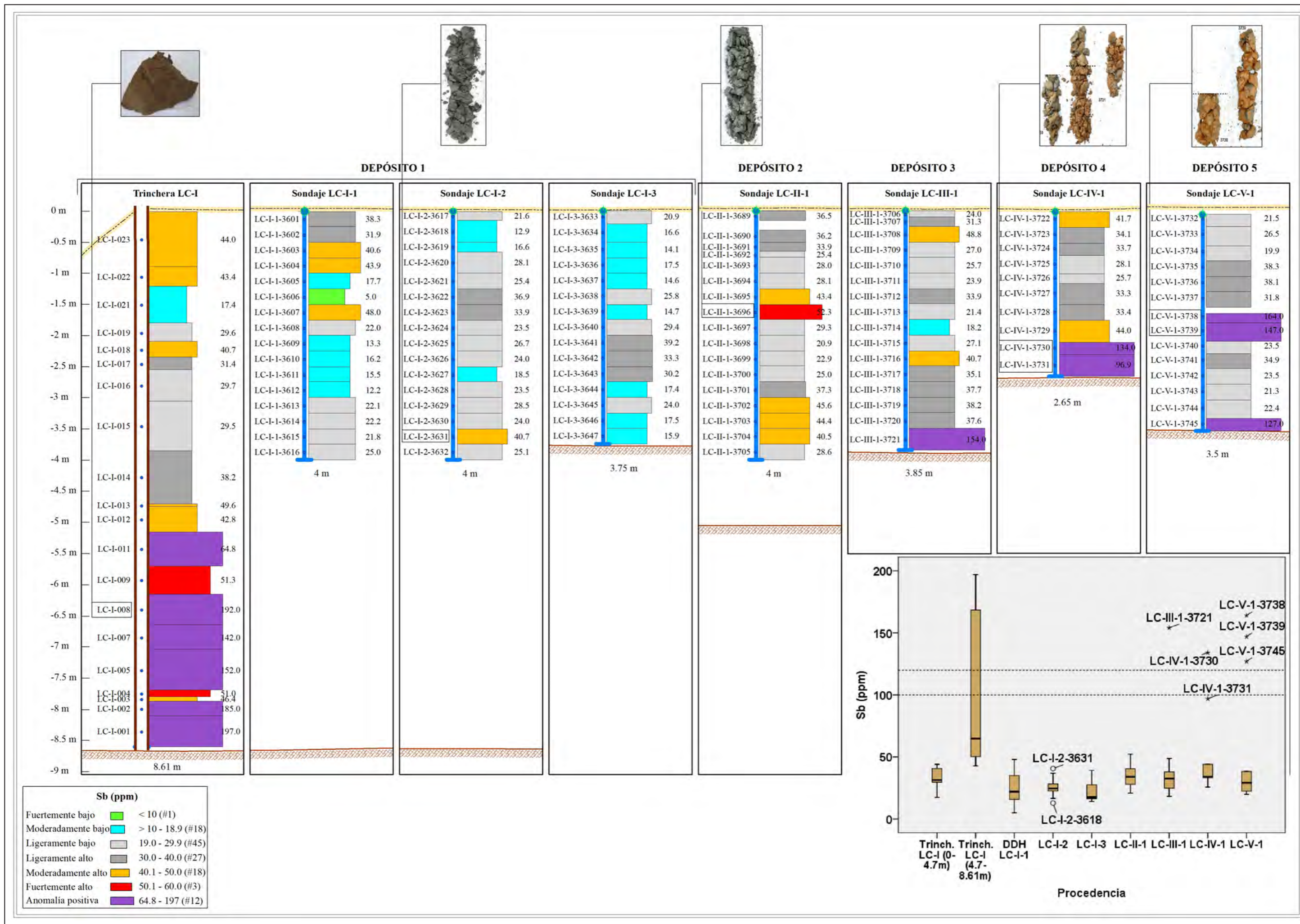


Figura 5.21 Distribución geoquímica de Sb (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

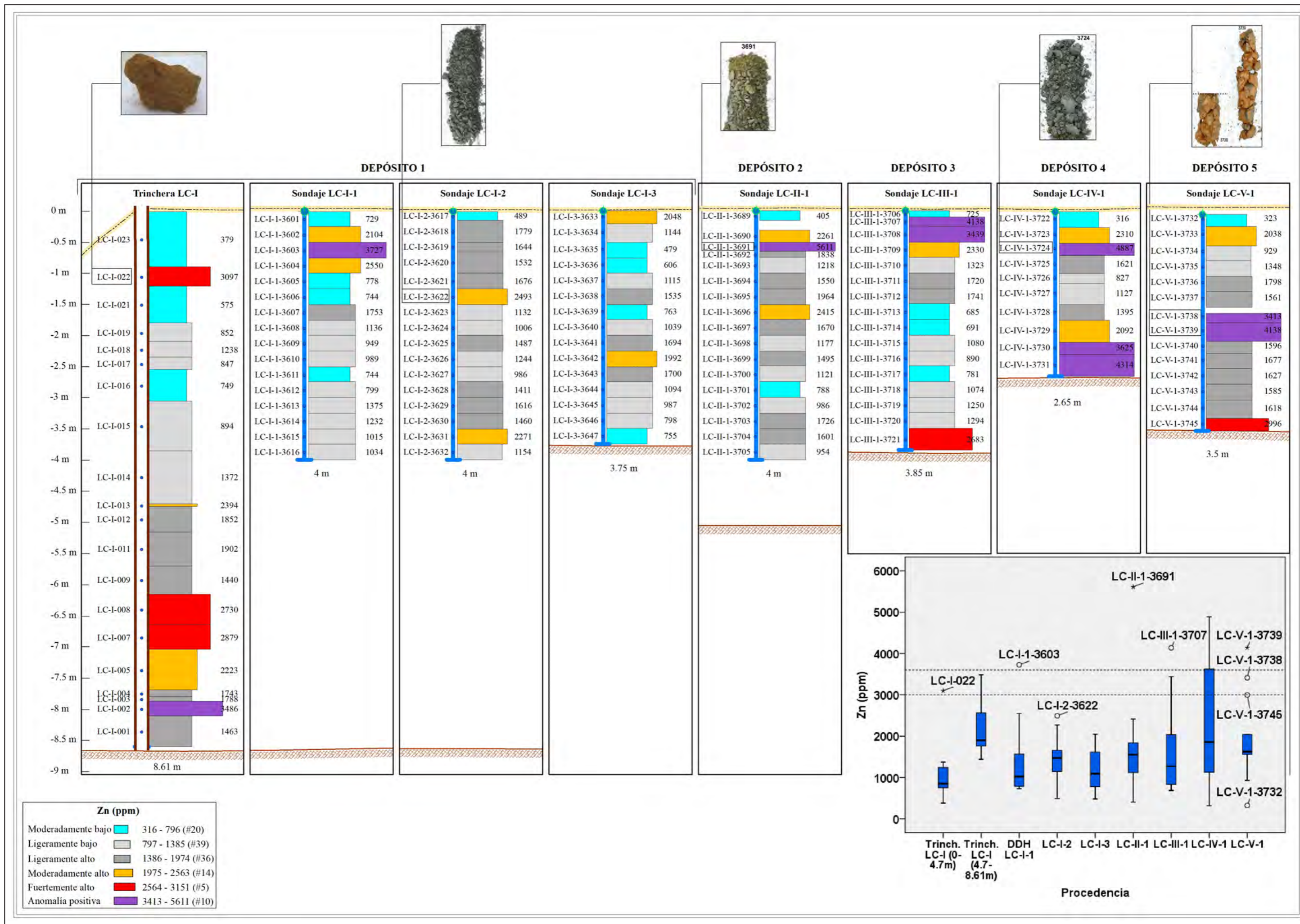


Figura 5.22 Distribución geoquímica de Zn (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga

Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (ubicación espacial)

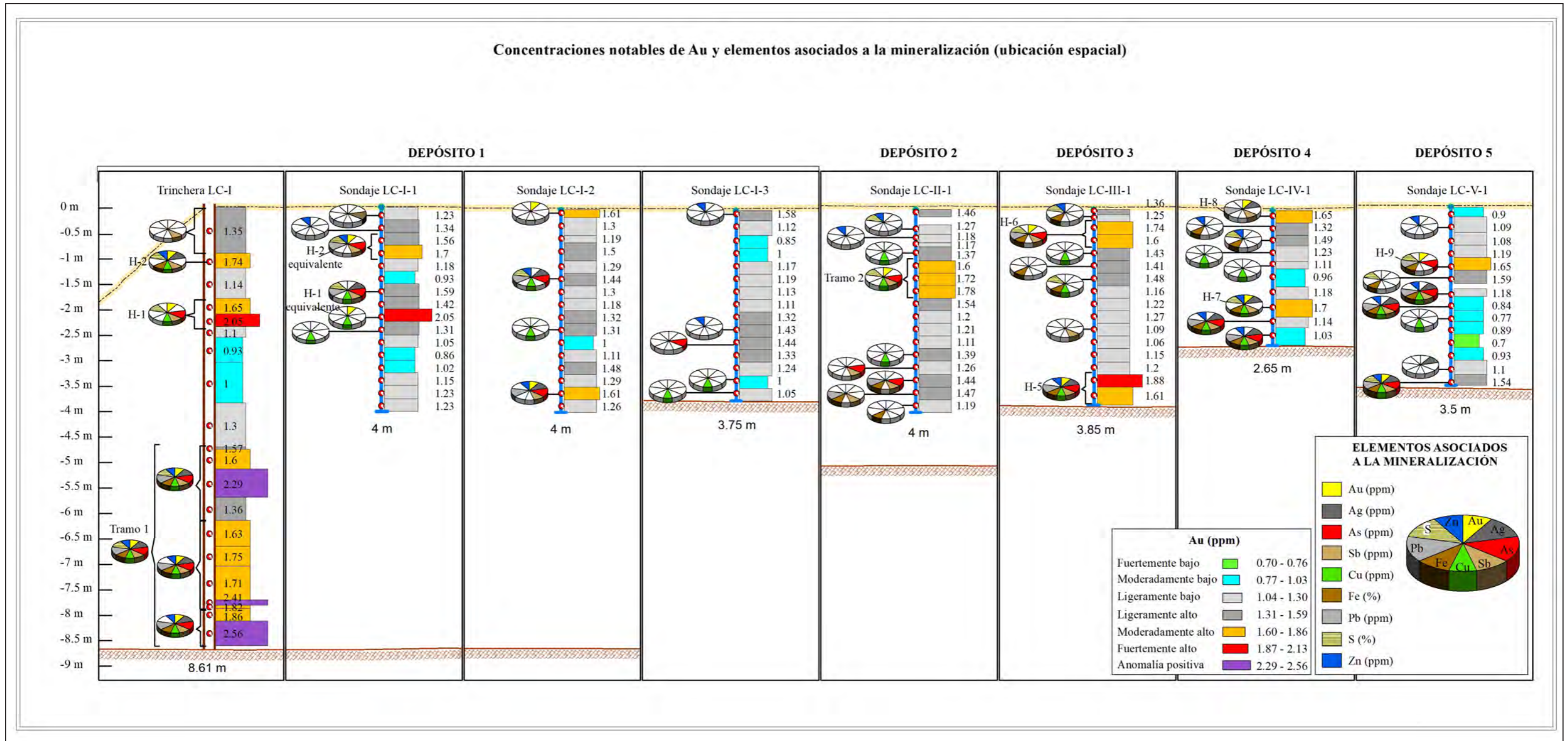


Figura 5.23 Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (ubicación espacial)

Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (ubicación espacial)

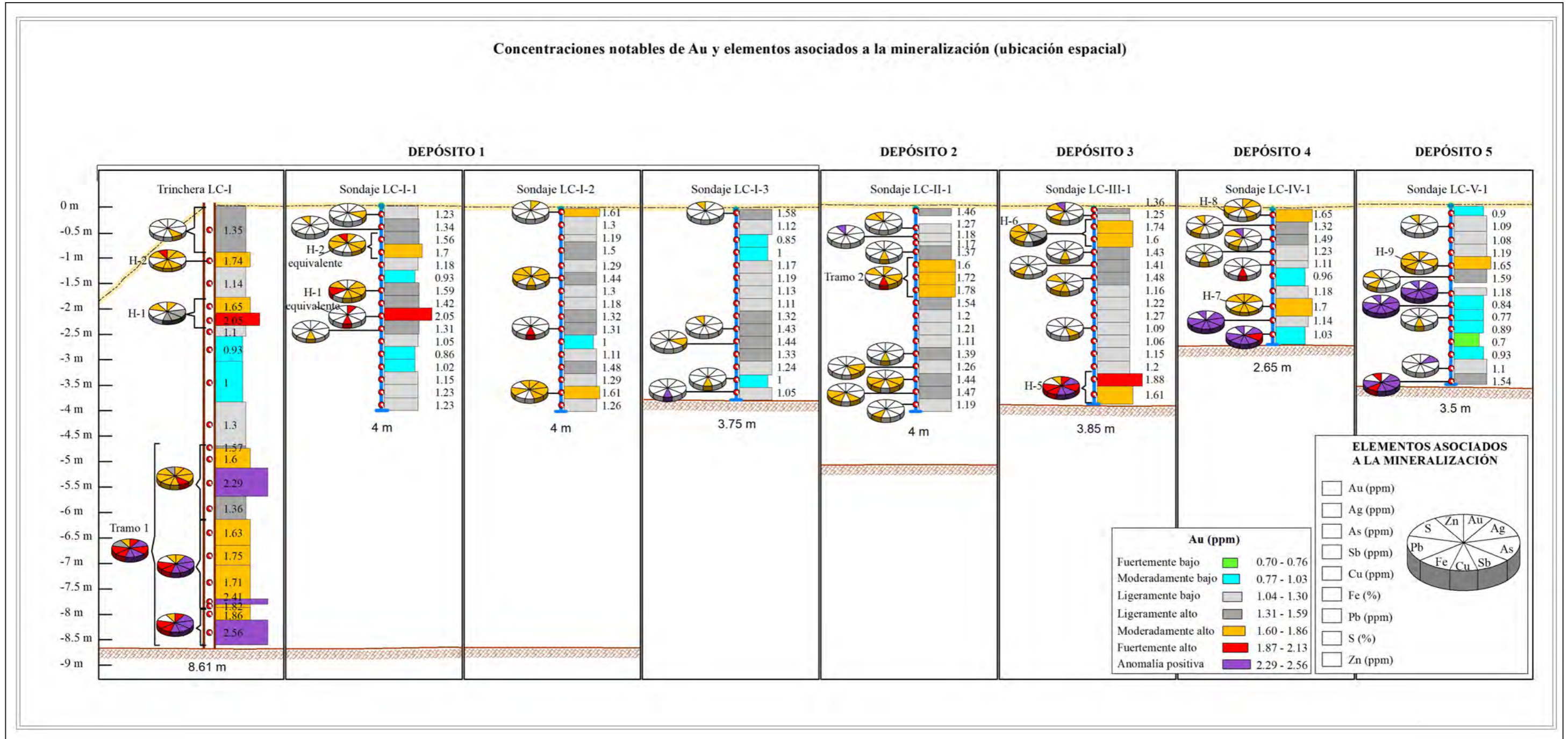


Figura 5.24 Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (intensidad)

5.3 CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE RELAVES EN LA TRINCHERA LC-1 (FLANCO OESTE DEL DEPÓSITO I)

La apertura de la trinchera LC-I (figura 5.25) permitió exponer en sección vertical la columna completa de los relaves, lo cual constituye la mejor fuente de información de estos y que es

descrita en el Capítulo III de este informe, pudiendo considerarse los resultados geoquímicos obtenidos como característicos de forma general de los relaves mineros La Ciénaga.

Con la trinchera, se penetró la “costra” superficial alterada de color amarillo blanquecino hasta alcanzar los relaves “frescos” con color característico gris oscuro (fotografía 5.1).

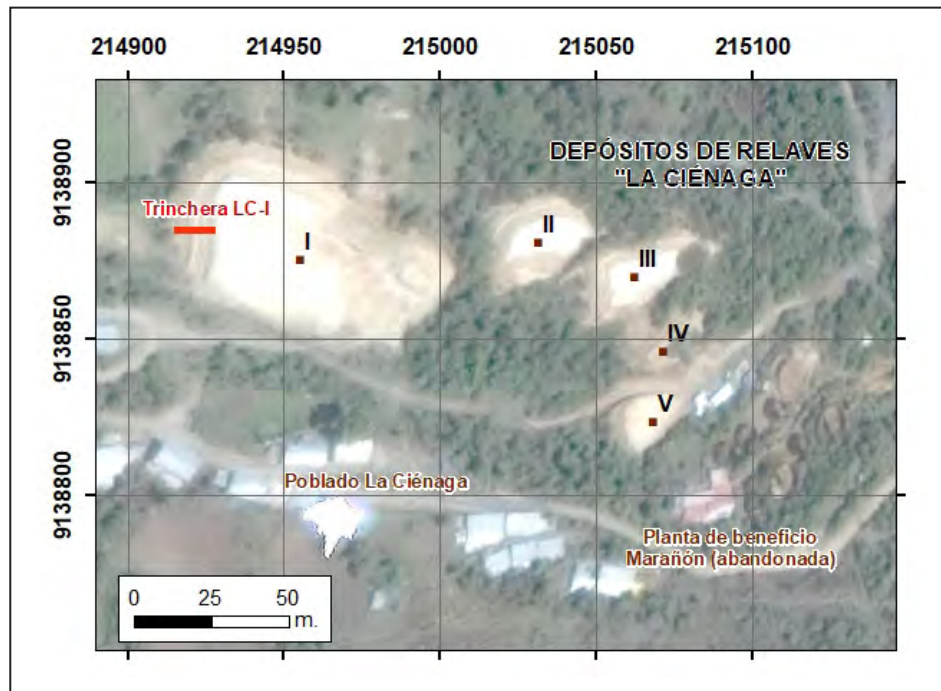


Figura 5.25 Ubicación Trinchera LC-I

En esta trinchera, se recolectaron 20 muestras, siendo el criterio de muestreo la homogeneidad de características físicas, primando los cambios de tonalidad y de estructuras de los depósitos de relave, en cuanto el material es muy fino, lo que dificulta la identificación de cambios composicionales, incluso con una lupa de 20 aumentos.

Geoquímicamente se diferencian cinco niveles, en base a la abundancia del Au acompañado de nueve (09) elementos

químicos (Ag, As, Sb, Cu, Fe, Hg, Pb, Zn y S), relacionados a la mineralización del área y que corresponden a elementos calcófilos a excepción del Fe.

La profundidad, potencia y promedio de concentración geoquímica de estos niveles son presentados en el cuadro 5.10, y el contenido de elementos por muestra y detalle de los cinco niveles en el cuadro 5.11.



Fotografía 5.1 Corte de relaves mediante la Trinchera LC-I

Cuadro 5.10

Promedio ponderado con la potencia por niveles geoquímicos - Trinchera LC-I

Profundidad (m)	Potencia (m)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
0.00 – 0.90	0.9	1.35	<2.0	8155	44	90	6.4	1432	379	4
0.90 - 2.35	1.45	1.65	17.1	7783	33	144	7.5	2881	1441	5.8
2.35 - 4.70	2.35	1.08	3.8	7749	32	114	6.68	2671	966	4.4
4.70 – 6.15	1.45	1.71	9.7	9272	52	175	8.63	5280	1897	7
6.15 – 8.61	2.46	1.97	31	12 244	138	288	9.8	8547	2330	3.5

• Nivel lixiviado (0 y 0.90 m)

Va de superficie a 0.90 m de profundidad; está constituido de material alterado, muy cohesionado presentándose a manera de una costra de característico color amarillo blanquecino que cubre la gran masa de material de relave “inalterado”.

En general, este nivel se caracteriza por reportar concentraciones bajas en la mayoría de los elementos asociados a la mineralización del área (cuadro 5.11). Carece de Ag (<2 ppm), presenta rangos de concentración geoquímica moderados y ligeramente bajos en Cu (90 ppm), Fe (6.4 %), Pb (1432 ppm), Zn (379) y S (4.0 %); rangos ligeramente altos de Au (1.35 ppm) y As (8155 ppm) y moderadamente altos de Sb (44 ppm).

Este nivel constituye un “nivel lixiviado” (fotografía 5.1) en los elementos que constituyen minerales metálicos, incluyendo al Au, y esta apreciación es evidente contrastando las concentraciones de la muestra inmediata inferior (LC-I-022), en donde estos elementos se incrementan notablemente alcanzando en general concentraciones moderadamente altas para la mayoría de los elementos. La excepción estaría dada para el Sb, cuya concentración es similar en el horizonte lixiviado y el inferior.

• Nivel de enriquecimiento secundario (0.90 a 2.35 m)

Este nivel ha sido definido en base a la presencia de mayores concentraciones de Au y elementos asociados, en contraste con

los niveles inmediatos superior e inferior, correspondiendo a un tramo de enriquecimiento secundario (fotografía 5.1) producto de la movilización de elementos que procederían principalmente del “nivel lixiviado” superior.

Internamente se pueden diferenciar tres subniveles que están entre los 0.90 a 1.20 m (0.30 m.), 1.20 a 2.10 m (0.90 m.) y 2.10 a 2.35 (0.25 m), de los cuales los subniveles extremos reportan concentraciones más altas (cuadro 5.11).

El primer subnivel tiene concentraciones de 1.74 ppm Au, 10.2 ppm Ag, 8774 ppm As, 43 ppm Sb, 179 ppm Cu, 8.10 % Fe, 4 250 ppm Pb, 3097 ppm Zn y 6.4 %S; en la muestra LC-I-022. Este subnivel visualmente se distingue por un color marrón anaranjado (foto 5.2), que ha sido descrito como el nivel transicional entre el horizonte alterado superficial (amarillo blanquecino) y el horizonte inalterado (gris oscuro).

Seguidamente, en profundidad, se pasa a un tramo de 0.90 m de potencia donde las concentraciones decrecen reportando 1.31 ppm Au, para volver a incrementarse entre el tercer subnivel donde destacan contenidos de 2.05 ppm Au, 9023 ppm As, 41 ppm Sb y 165 ppm Cu.

En este nivel se presenta una fuerte correlación positiva Ag-Pb-As-Sb-Fe (figura 5.26).

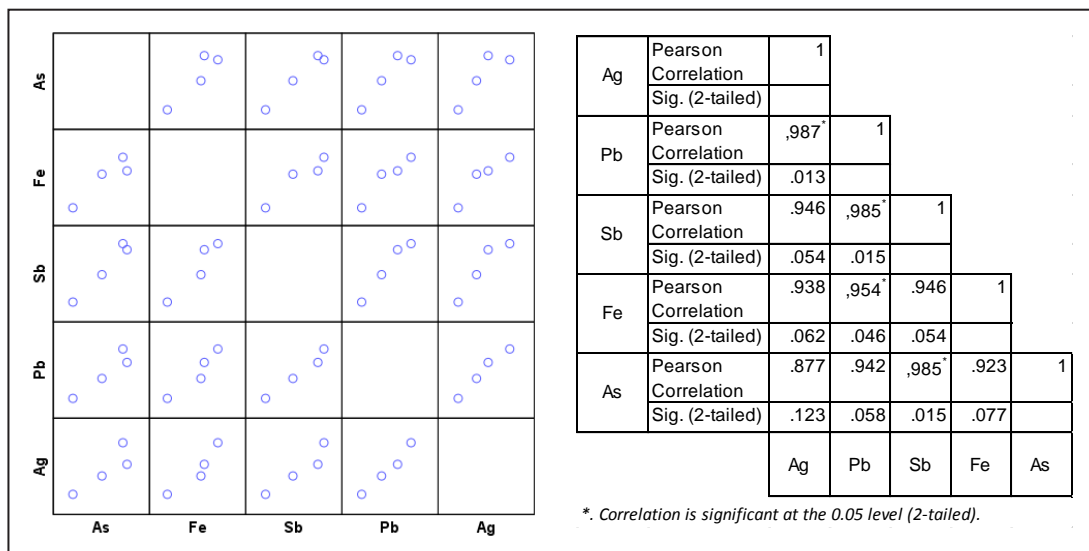


Figura 5.26 Correlación positiva Ag-Pb-As-Sb-Fe para el nivel de enriquecimiento secundario

• Nivel con concentraciones ligeramente bajas (2.35 a 4.70 m)

Este nivel de 2.35 m de potencia se caracteriza con contener material de relave de color gris verdoso y presentar concentraciones geoquímicas dominantes de intensidad ligeramente bajas.

La concentración geoquímica promedio para todo el nivel es de 1.08 ppm Au, 3.82 ppm Ag, 7749 ppm As, 32 ppm Sb, 114 ppm Cu, 6.68 % Fe, 2671 ppm Pb, 966 ppm Zn y 4.35 % S, con dos muestras analizadas por Hg que en promedio reportan 658 ppb (cuadro 5.11).

• Nivel de concentraciones moderadamente altas (4.70 a 6.15 m)

Este nivel, de 1.45m de potencia, presenta un color gris oscuro y está definido por la presencia de elementos que están contenidos en minerales metálicos, cuyas concentraciones promedio en general corresponden a rangos moderadamente altos a excepción del Zn que es ligeramente alto y el Sb que es alto. En promedio tiene valores de 1.71 ppm Au, 9.66 ppm Ag, 9272 ppm As, 52 ppm Sb, 175 ppm Cu, 8.63 % Fe, 5280 ppm Pb, 1897 ppm Zn y 7.0 % S. En este tramo, se analizaron dos muestras por Hg que en promedio dan 2372 ppb (cuadro 5.11).

• Nivel con concentraciones altas y anómalas (6.15 a 8.61 m)

En conjunto constituye el nivel de mayor enriquecimiento registrado para los depósitos de relaves La Ciénaga, que

comprenden anomalías en Au, Ag, As, Sb, Cu, Fe y Pb, valores moderadamente altos en Zn y Hg, y una marcada disminución en los contenidos de S (cuadro 5.11). Se desconoce si este enriquecimiento se extiende a todo el depósito I en cuanto únicamente a través de la trinchera se alcanzaron profundidades mayores a 4 m.

Los 2.46 m de potencia tienen en promedio 2.46 ppm Au, 31 ppm Ag, 12 244 ppm As, 138 ppm Sb, 288 ppm Cu, 9.8 % Fe, 8547 ppm Pb, 2330 ppm Zn, 3.5 % S y 1659 ppb Hg, este último elemento calculado en base a cuatro muestras.

En base al contraste de concentraciones de Au, se definen dos subniveles con valores de 1.70 ppm Au @ 1.55 m para un subnivel superior y 2.16 ppm Au @ 0.91 m para un subnivel inferior.

El subnivel superior (6.15 a 7.70 m) está conformado por relaves muy húmedos dando la apariencia de un “suelo hidromórfico” (fotografía 5.2) de marcado color marrón por la presencia de plumbojarosita identificada mediante análisis de difracción de rayos “X” (Capítulo IX), mineral secundario formado en zonas de oxidación, así como subproducto de procesos hidrometalúrgicos de concentrados de Pb. Geoquímicamente, este subnivel se diferencia por valores de 1.70 ppm Au, 12 654 ppm Pb, 2 611 ppm Zn y 1 297 ppb Hg, así como por las correlaciones As-Cu-Fe (figura 5.27) y Au-Ag-(Sb) (figura 5.28).

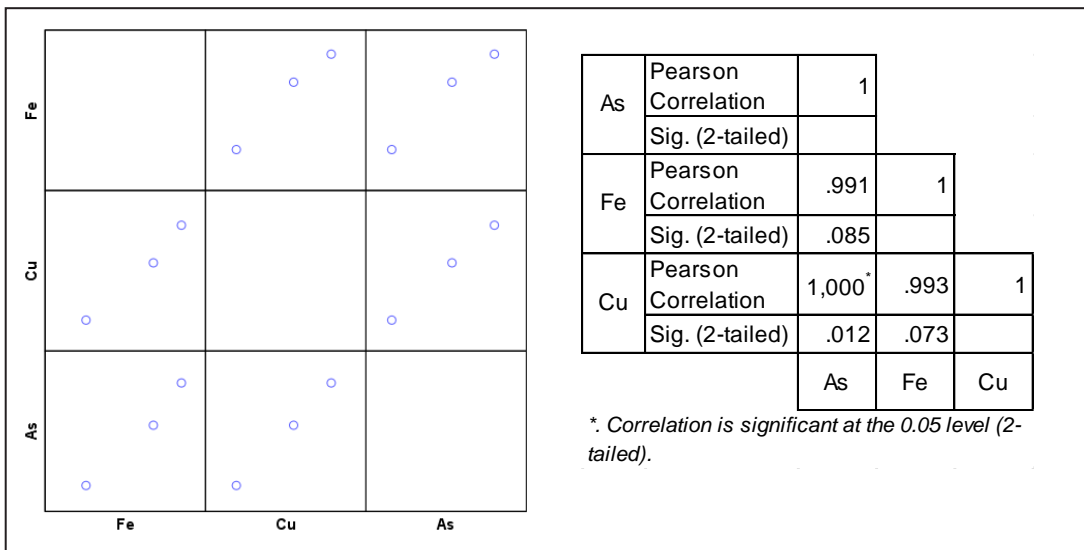


Figura 5.27 Correlación positiva As-Cu-Fe entre los 6.15 y 7.70 m

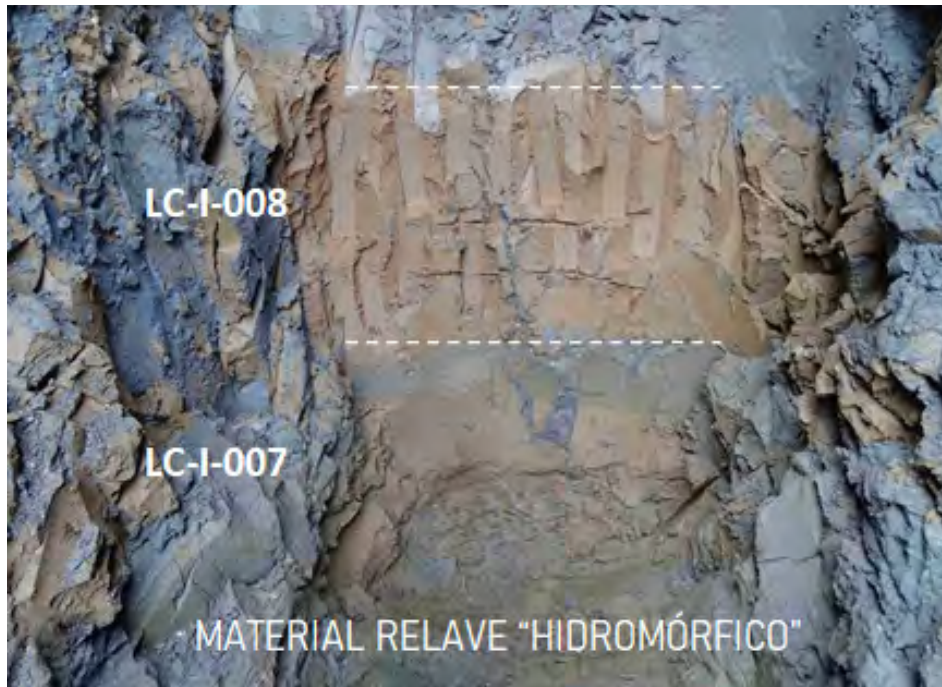
Cuadro 5.11

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Niveles geoquímicos

IMAGEN	Cód.	Pot. (m)	Au	Ag	As	Sb	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Hg	NIVEL	Au	Ag	As	Sb	Cu	Fe	Pb	Zn	S	Hg		
			ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppb		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppb		
	LC-I-023	0.90	1.35	<2	8 155	44	90	6.4	1 432	379	4.0		Nivel LIXIVIADO 0.00-0.90 m Pot.:0.90m	Au 1.35	Ag <2	As 8 155	Sb 44	Cu 90	Fe 6.4	Pb 1 432	Zn 379	S 4			
	LC-I-022	0.30	1.74	10.20	8 774	43	179	8.1	4 250	3 097	6.4	5 020	Nivel ENRIQUEC. SECUNDARIO 0.90-2.35 m Pot.:1.45m	Au 1.74	Ag 10.20	As 8 774	Sb 43	Cu 179	Fe 8.1	Pb 4 250	Zn 3 097	S 6.4	Hg 5 020		
	LC-I-021	0.60	1.14	<2	5 803	17	114	6.6	1 320	575	4.7			Au 1.31	Ag 2.64	As 6 668	Sb 24	Cu 116	Fe 7.3	Pb 1 912	Zn 888	S 5.6	Hg 1057		
	LC-I-019	0.30	1.65	4.28	7 532	30	117	7.6	2 503	852	6.3	1 057		Au 2.05	Ag 6.35	As 9 023	Sb 41	Cu 165		Pb 3 451					
	LC-I-018	0.25	2.05	6.35	9 023	41	165	7.7	3 451	1 238	5.9		Nivel CONCENT. LIG. BAJAS 2.35-4.70 m Pot.: 2.35 m	Au 1.08	Ag 3.82	As 7 749	Sb 32	Cu 114	Fe 6.7	Pb 2 671	Zn 966	S 4.35	Hg 658		
	LC-I-017	0.20	1.10	2.67	8 470	31	105	7.2	1 889	847	4.7	515													
	LC-I-016	0.50	0.93	2.73	6 722	30	106	6.0	1 942	749	4.0		Nivel CONCENT. MOD.ALTAS 4.70-6.15 m Pot.: 1.45 m	Au 1.71	Ag 9.66	As 9 272	Sb 52	Cu 175	Fe 8.6	Pb 5 280	Zn 1 897	S 7	Hg 2372		
	LC-I-015	0.80	1.00	3.16	6 904	30	114	6.1	2 495	894	3.9	801													
	LC-I-014	0.85	1.30	6.71	8 899	38	130	7.4	4 357	1 372	4.8		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 1.70		As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 12 654	Zn 2611				Hg 1297
	LC-I-013	0.05	1.57	9.77	9 799	50	178	8.4	6 341	2 394	6.8	1 938													
	LC-I-012	0.40	1.60	9.82	9 296	43	170	8.6	6 294	1 852	6.5		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 2.16	Ag 31	As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 4 206	Zn 1766	S 3.5	Hg 11754		
	LC-I-011	0.55	2.29	15.20	9 687	65	205	8.9	5 561	1 902	8.2	2 806													
	LC-I-009	0.45	1.36	3.82	8 304	51	146	8.6	2 925	1 440	6.4		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 2.16	Ag 31	As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 4 206	Zn 1766	S 3.5	Hg 11754		
	LC-I-008	0.50	1.63	27.70	15 359	192	431	13.0	12 275	2 730	4.1	1 652													
	LC-I-007	0.40	1.75	36.70	14 605	142	364	12.0	13 733	2 879	3.5		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 2.16	Ag 31	As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 4 206	Zn 1766	S 3.5	Hg 11754		
	LC-I-005	0.65	1.71	34.90	13 532	152	262	9.6	11 955	2 223	3.2	942													
	LC-I-004	0.10	2.41	11.1	8 426	51	156	7.0	4 326	1 743	3.1		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 2.16	Ag 31	As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 4 206	Zn 1766	S 3.5	Hg 11754		
	LC-I-003	0.08	1.82	12.30	7 885	46	214	7.3	4 085	1 788	3.5	11 754													
	LC-I-002	0.23	1.86	39.10	13 087	185	303	11.0	10 350	3 486	3.2		Nivel CONCENT. ALTAS Y ANÓMALAS 6.15-8.61 m Pot.:2.46 m	Au 2.16	Ag 31	As 12 244	Sb 138	Cu 288	Fe 9.8	Pb 10350	Zn 3486	S 3.5	Hg 11754		
	LC-I-001	0.50	2.56	55.20	12 814	197	283	8.7	3 103	1 463	3.9	983													

CONCENTRACIÓN GEOQUÍMICA

X-2SD Baja X-1SD Ligeramente baja X+1SD Ligeramente alta X+2SD Moderadamente alta X+3SD Alta >X+3SD Anómala



Fotografía 5.2 Horizonte "hidromórfico" en los relaves

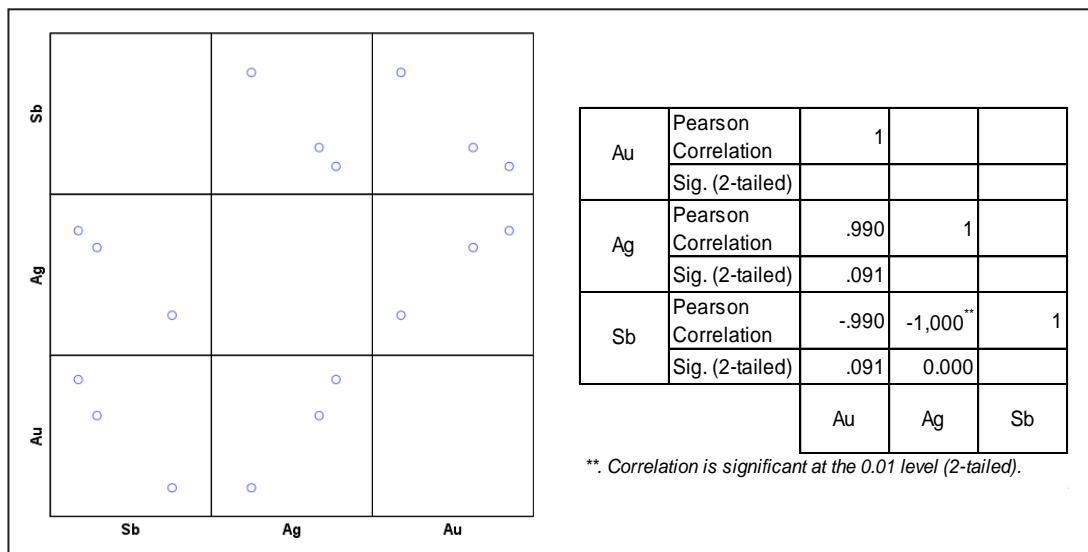


Figura 5.28 Correlación positiva As-Ag e inversa con Sb entre los 6.15 y 7.70 m

El subnivel inferior (7.10 a 8.61 m) contiene relaves grises con ligero tinte azulino, contiene la muestra con mayor concentración de oro y plata registrada en este estudio, correspondiendo a 2.56 ppm Au y 55.20 ppm Ag en la muestra LC-I-001. En este

subnivel, las concentraciones de Pb y Zn pueden a la vez estratificarse en tres tramos donde el intermedio es anómalo en Pb (10 350 ppm) y Zn (3486 ppm). Se determinó la correlación positiva Pb-Zn para este subnivel.

5.4 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA EN BASE A SONDAJES "AUGER"

En base a 72 muestras procedentes de siete (07) sondajes cortos empleando un equipo portátil "Auger" (figura 5.31), tres (03) de estos fueron realizados en el depósito I y los restantes en los depósitos II, III, IV y V un sondaje por depósito.

En la figura 5.29 se muestra el trabajo de perforación manual ejerciendo presión y rotando el taladro (extremo superior

derecho) que va profundizando y reteniendo material de relaves cada 0.25 m perforados (extremo inferior izquierdo) y que puede ser retirado por percusión (extremo inferior derecho).

En general, el muestreo en sondajes fue realizado cada 0.25 m, principalmente en los tramos de material "inalterado" de color gris oscuro en donde se dificulta la diferenciación de contrastes de tonalidad u otras características, por el diámetro del sondaje.



Figura 5.29 Ubicación y muestreo de relaves con sondajes "Auger"

Al igual que para la caracterización geoquímica de la trinchera LC-I, para los sondajes se han diferenciado niveles geoquímicos, en base a la abundancia del Au acompañado de ocho (08) elementos químicos Ag, As, Sb, Cu, Fe, Pb, Zn, S relacionados a la mineralización del área.

5.4.1 Resultados geoquímicos en el depósito I (sondajes LC-I-1, LC-I-2 y LC-I-3)

Comprende tres (03) sondajes cuyo alcance máximo llegó a 4.0 m de profundidad, mediante estos se tomaron 47 muestras. El sondaje LC-I-1 se ubicó en el extremo noroeste del depósito, el LC-I-2 en la parte media y el LC-I-3 en el extremo sureste.

En general, la concentración de Au reporta valores que están dentro del promedio ± 1 desviación estándar normal ligeramente bajo a ligeramente alto, con 4 muestras aisladas de mayor concentración en el LC-I-1 1.70 ppm Au de 0.75 a 1.0 m, y 2.05 ppm Au de 2.0 a 2.25 m y en el LC-2 1.61 ppm Au en los tramos de 0.0 a 0.15 m y 3.50 a 3.7 5 m, sin aparente continuidad espacial lateral entre los tres sondajes, aunque sí entre la trinchera y el sondaje LC-I-1 ubicado a una distancia de ± 7 m. El promedio en Au para los tres sondajes es de 1.28 ppm Au.

El sondaje LC-I-1 reporta las mayores concentraciones en elementos asociados a la mineralización del área de La Ciénaga, desde la superficie hasta los 2.50 m de profundidad en As, Sb, Cu, Pb, Zn y S.

5.4.1.1 Sondaje IC-I-1 (extremo noroeste depósito I)

Está caracterizado por concentraciones de Au dentro del rango promedio calculado para los relaves La Ciénaga 1.31 ±0.27 ppm Au y por la carencia de valores significativos de Ag (cuadro 5.12).

El promedio para el sondaje es de 1.30 ppm Au @ 4.0 m de potencia, variando entre 0.86 y 2.05 ppm Au. Según la intensidad de estas concentraciones y la de elementos asociados a la mineralización del área, se puede diferenciar seis (06) niveles.

El primer nivel, de 0.0 a 0.50 m, presenta valores bajos en Au, Ag, Sb, Cu, Fe, Pb, Zn y S, con 1.29 ppm Au. Este nivel corresponde a material de relaves alterados de color amarillo blanquecino y al igual que en la trinchera, constituye un nivel de lixiviación para todos los elementos asociados con la mineralización, a excepción del As que tiene concentración alta 9062 ppm As.

En el segundo nivel, entre los 0.50 y 1.00 m, el Au y los elementos asociados incrementan su concentración hasta niveles altos, este tramo constituye el nivel de enriquecimiento

secundario observado también en la trinchera LC-I. La excepción está dada para la Ag que se mantiene constante con valores moderadamente bajos.

En el tercer nivel, de 1.0 a 1.50 m, las concentraciones vuelven a disminuir a niveles moderadamente bajos con 1.06 ppm Au y ausencia de Ag detectable.

El cuarto nivel va de 1.50 a 2.50 m, definido por concentraciones del promedio ligeramente alto para el Au y S en color plomo oscuro, y moderada y alta para el Cu; en este nivel se reporta el valor más alto en oro para este sondaje y es de 2.05 ppm Au en la muestra LC-I-3609.

En el quinto nivel, las concentraciones en Au y demás elementos asociados a la mineralización vuelven a bajar a niveles del promedio moderadamente bajos.

En el sexto nivel, las concentraciones suben ligeramente, fundamentalmente en As y Pb.

Cuadro 5.12

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (noroeste)

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-I-1-3601	0.00	0.25	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 1	1.29	1.23	2.9	9597	38	111	7.50	3700	729	5.9
2	LC-I-1-3602	0.25	0.50	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.34	3.7	8527	32	134	6.90	4114	2104	5.9
3	LC-I-1-3603	0.50	0.75	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 2	1.63	1.56	3.6	8884	41	130	7.70	4682	3727	6.8
4	LC-I-1-3604	0.75	1.00	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.70	5.0	9240	44	145	7.70	5292	2550	6.8
5	LC-I-1-3605	1.00	1.25	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 3	1.06	1.18	< 2	6373	18	102	6.50	1806	778	4.9
6	LC-I-1-3606	1.25	1.50	0.25	LC-I-1	I (NW)			0.93	< 2	6293	5	132	6.40	1660	744	4.8
7	LC-I-1-3607	1.50	1.75	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 4	1.59	1.59	8.5	9577	48	179	7.80	5763	1753	6.2
8	LC-I-1-3608	1.75	2.00	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.42	2.4	7843	22	154	6.40	3334	1136	4.7
9	LC-I-1-3609	2.00	2.25	0.25	LC-I-1	I (NW)			2.05	< 2	6942	13	196	6.70	2587	949	5.3
10	LC-I-1-3610	2.25	2.50	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.31	7.4	6919	16	181	6.80	2573	989	5.2
11	LC-I-1-3611	2.50	2.75	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 5	0.98	1.05	< 2	6739	16	105	5.70	1796	744	3.8
12	LC-I-1-3612	2.75	3.00	0.25	LC-I-1	I (NW)			0.86	< 2	6617	12	81	5.60	1832	799	3.4
13	LC-I-1-3613	3.00	3.25	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.02	< 2	7824	22	115	6.70	3996	1375	4.5
14	LC-I-1-3614	3.25	3.50	0.25	LC-I-1	I (NW)	Nivel 6	1.2	1.15	< 2	7972	22	114	6.50	3380	1232	4.4
15	LC-I-1-3615	3.50	3.75	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.23	< 2	8006	22	97	6.40	3464	1015	4.1
16	LC-I-1-3616	3.75	4.00	0.25	LC-I-1	I (NW)			1.23	< 2	8262	25	104	6.70	3682	1034	4.5

5.4.1.2 Sondaje LC-I-2 (centro depósito I)

En general, el sondaje LC-I-2, ubicado en la parte central del depósito I, se caracteriza por concentraciones ligeramente bajas, incluido el Au; sin embargo, este último reporta dos valores puntuales moderadamente altos de 1.61 ppm Au para las muestras LC-I-2-3617 y LC-I-2-3631 (cuadro 5.13); la primera muestra corresponde al nivel superficial alterado de color amarillo blanquecino, no muestra lixiviación en Au tal como se observó la trinchera LC-I y sondaje LC-I-1.

En este sondaje no se puede distinguir niveles con mayor o menor intensidad de concentración, únicamente destacan dos horizontes por una mayor concentración de elementos, el primero entre 1.25 y 1.50 m. de profundidad con 1.44 ppm Au, 8.6 ppm Ag, 9346 ppm As, 175 ppm Cu, 4848 ppm Pb, 2493 ppm Zn y 6.1 % S. El segundo horizonte, entre los 3.75 y 4.00 m de profundidad, presenta 1.61 ppm Au, 11.3 ppm Ag, 9179 ppm As, 41 ppm Sb, 5234 ppm Pb y 2271 ppm Zn.

En este sondaje, el promedio de oro es de 1.32 ppm Au @ 4 m de potencia.

Cuadro 5.13

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (centro)

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-I-2-3617	0.00	0.15	0.15	LC-I-2	I (Centro)	INDIF.	1.32	1.61	2.9	7101	22	89	5.60	3680	489	3.5
2	LC-I-2-3618	0.15	0.50	0.35	LC-I-2	I (Centro)			1.30	< 2	7901	13	116	6.80	2794	1779	5.6
3	LC-I-2-3619	0.50	0.65	0.15	LC-I-2	I (Centro)			1.19	< 2	7598	17	91	6.50	3195	1644	5.2
4	LC-I-2-3620	0.65	1.00	0.35	LC-I-2	I (Centro)			1.50	4.2	7325	28	101	6.10	3341	1532	5.1
5	LC-I-2-3621	1.00	1.25	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.29	4.2	7909	25	128	6.70	3336	1676	5.3
6	LC-I-2-3622	1.25	1.50	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.44	8.6	9346	37	175	7.60	4848	2493	6.1
7	LC-I-2-3623	1.50	1.75	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.30	5.0	7738	34	131	6.60	3190	1132	5
8	LC-I-2-3624	1.75	2.00	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.18	3.7	7010	24	143	5.90	2800	1006	4.1
9	LC-I-2-3625	2.00	2.25	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.32	5.9	7750	27	142	6.00	3612	1487	4.4
10	LC-I-2-3626	2.25	2.50	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.31	4.6	7684	24	198	6.10	3166	1244	4.2
11	LC-I-2-3627	2.50	2.75	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.00	2.7	7239	19	125	6.00	1964	986	4
12	LC-I-2-3628	2.75	3.00	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.11	4.9	7852	24	99	5.60	2832	1411	3.7
13	LC-I-2-3629	3.00	3.25	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.48	7.1	8438	29	135	6.80	4083	1616	4.7
14	LC-I-2-3630	3.25	3.50	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.29	5.8	7649	24	108	6.00	3949	1460	4.2
15	LC-I-2-3631	3.50	3.75	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.61	11.3	9179	41	136	7.20	5234	2271	5.2
16	LC-I-2-3632	3.75	4.00	0.25	LC-I-2	I (Centro)			1.26	4.9	7640	25	104	6.80	3378	1154	4.6

5.4.1.3 Sondaje LC-I-3 (extremo sureste depósito I)

En general, el sondaje LC-I-3, ubicado en el sector sureste del depósito I, se caracteriza por no presentar concentraciones altas de elementos, dándose estas únicamente de forma puntual para el As, Cu y Zn. El promedio en oro en este sondaje es 1.98 ppm Au @ 3.75 m de profundidad (cuadro 5.14).

Se pueden diferenciar cinco niveles por la asociación e intensidad geoquímica de elementos, el primero entre los 0.00 y 0.20 m, correspondiente al material alterado de color amarillo blanquecino, con concentraciones ligera y moderadamente altas

en Au, Ag, Cu, Pb, Zn y S; estas contrastan con el nivel inmediato inferior (segundo nivel), entre los 0.0 y 1.0 m en donde los valores disminuyen a rangos moderadamente bajos.

En el tercer 1.0 a 2.0 m y cuarto nivel 2.0 a 3.0 m, las concentraciones se incrementan hasta alcanzar concentraciones ligeramente altas en este último nivel.

En el quinto nivel, de 3.0 a 3.75 m, las concentraciones vuelven a decrecer, a excepción del Cu que alcanza un valor anómalo de 352 ppm Cu en la muestra LC-I-3-3647.

Cuadro 5.14

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (sureste)

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-I-3-3633	0.00	0.20	0.20	LC-I-3	I (SE)	Nivel 1	1.58	1.58	5.2	6588	21	156	6.80	3551	2048	5
2	LC-I-3-3634	0.20	0.50	0.30	LC-I-3	I (SE)	Nivel 2	0.99	1.12	3.2	6938	17	97	6.00	2108	1144	4.3
3	LC-I-3-3635	0.50	0.75	0.25	LC-I-3	I (SE)			0.85	1.0	6539	14	81	4.90	1254	479	2.7
4	LC-I-3-3636	0.75	1.00	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.00	2.4	6260	18	84	4.70	1783	606	2.7
5	LC-I-3-3637	1.00	1.25	0.25	LC-I-3	I (SE)	Nivel 3	1.15	1.17	4.0	7209	15	112	6.40	3017	1115	4.3
6	LC-I-3-3638	1.25	1.50	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.19	5.5	7711	26	127	7.10	4008	1535	5
7	LC-I-3-3639	1.50	1.75	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.13	2.6	6167	15	114	6.50	2221	763	4.4
8	LC-I-3-3640	1.75	2.00	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.11	4.0	7215	29	124	6.80	3155	1039	4.6
9	LC-I-3-3641	2.00	2.25	0.25	LC-I-3	I (SE)	Nivel 4	1.38	1.32	5.6	8092	39	124	6.80	4042	1694	5.2
10	LC-I-3-3642	2.25	2.50	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.43	6.0	8977	33	125	6.90	4257	1992	5.2
11	LC-I-3-3643	2.50	2.75	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.44	6.7	9407	30	134	7.30	4407	1700	5.7
12	LC-I-3-3644	2.75	3.00	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.33	5.5	7651	17	111	6.80	1980	1094	5.5
13	LC-I-3-3645	3.00	3.25	0.25	LC-I-3	I (SE)	Nivel 5	1.10	1.24	3.6	7699	24	124	7.00	1916	987	5.5
14	LC-I-3-3646	3.25	3.50	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.00	1.0	5854	18	166	6.60	1518	798	4.5
15	LC-I-3-3647	3.50	3.75	0.25	LC-I-3	I (SE)			1.05	1.0	5184	16	352	6.60	1250	755	3.8

5.4.2 Resultados geoquímicos en el depósito II (Sondaje LC-II-1)

El sondaje LC-II-1 se ubicó en la parte media del depósito II, con un alcance de 4 m quedando colgado a ± 1 m de la base del depósito. En este sondaje, se tomaron 17 muestras (cuadro 5.15).

En este sondaje se diferencian 4 niveles geoquímicos, 2 de los cuales presentan concentraciones moderadamente altas y altas en elementos tales como Au, As, Sb, Cu, Fe, Pb, Zn y S.

En el primer nivel, de 0.0 a 0.75 m, predominan valores ligeramente bajos, a excepción del Zn en donde la muestra LC-II-1-3691 alcanza el valor anómalo de 5611 ppm Zn. En este

nivel, no se observa la lixiviación de elementos en el horizonte más superficial.

El segundo nivel, entre 0.75 y 2.0 m, está definido por valores moderadamente altos en Au ascendiendo a 1.60 ppm Au, acompañado de algunos horizontes con valores moderadamente altos y altos en As, Sb, Cu, Fe, Pb, Zn y S.

En el tercer nivel, entre 2.0 y 2.75 m, dominan los valores ligeramente bajos, con 1.17 ppm Au en promedio.

El cuarto nivel, entre 2.75 y 4.0 m, es definido por horizontes con concentraciones moderadamente altas en As, Sb, Fe, Pb. El Au tiene una concentración que está en el rango promedio ligeramente alto que asciende a 1.35 ppm Au.

Cuadro 5.15

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito II

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)	
1	LC-II-1-3689	0.00	0.15	0.15	LC-II-1	II	Nivel 1	1.27	1.46	6.8	7357	37	94	5.90	4005	405	3.3	
2	LC-II-1-3690	0.30	0.50	0.20	LC-II-1	II			1.27	1.27	4.7	8372	36	151	6.80	3098	2261	6
3	LC-II-1-3691	0.50	0.65	0.15	LC-II-1	II			1.27	1.18	5.9	7600	34	88	6.40	2977	5611	5.2
4	LC-II-1-3692	0.65	0.75	0.10	LC-II-1	II			1.27	1.17	4.4	7064	25	119	6.20	2446	1838	4.5
5	LC-II-1-3693	0.75	1.00	0.25	LC-II-1	II	Nivel 2	1.60	1.37	3.0	7315	28	179	6.40	2398	1218	4.9	
6	LC-II-1-3694	1.00	1.25	0.25	LC-II-1	II			1.60	1.60	4.0	8297	28	162	7.30	3207	1550	6
7	LC-II-1-3695	1.25	1.50	0.25	LC-II-1	II			1.60	1.72	6.6	9333	43	245	8.00	4224	1964	6.4
8	LC-II-1-3696	1.50	1.75	0.25	LC-II-1	II			1.60	1.78	7.7	10 337	52	181	7.60	4903	2415	5.9
9	LC-II-1-3697	1.75	2.00	0.25	LC-II-1	II			1.60	1.54	5.4	8963	29	126	7.30	3539	1670	5.5
10	LC-II-1-3698	2.00	2.25	0.25	LC-II-1	II	Nivel 3	1.17	1.20	3.4	6685	21	126	5.90	2085	1177	4.4	
11	LC-II-1-3699	2.25	2.50	0.25	LC-II-1	II			1.17	1.21	4.6	7406	23	113	6.60	3095	1495	4.6
12	LC-II-1-3700	2.50	2.75	0.25	LC-II-1	II			1.17	1.11	4.6	7668	25	121	6.60	3075	1121	4.3
13	LC-II-1-3701	2.75	3.00	0.25	LC-II-1	II	Nivel 4	1.35	1.39	5.3	8881	37	168	6.50	3039	788	4	
14	LC-II-1-3702	3.00	3.25	0.25	LC-II-1	II			1.35	1.26	7.4	9920	46	136	7.20	3817	986	4.6
15	LC-II-1-3703	3.25	3.50	0.25	LC-II-1	II			1.35	1.44	7.6	9020	44	116	8.00	5024	1726	5.1
16	LC-II-1-3704	3.50	3.75	0.25	LC-II-1	II			1.35	1.47	7.6	8950	41	118	8.10	4872	1601	5.6
17	LC-II-1-3705	3.75	4.00	0.25	LC-II-1	II			1.35	1.19	3.3	7548	29	131	8.00	3088	954	5.4

5.4.3 Resultados geoquímicos en el depósito III (sondaje LC-III-1)

El sondaje LC-III-1 se ubicó en la parte media del depósito III, con un alcance de 3.85 m, alcanzando la base del depósito. En este sondaje, se tomaron 16 muestras (cuadro 5.16).

Se definen cuatro niveles geoquímicos de los cuales el primer nivel más cercano a superficie y el cuarto en la base, presentan las concentraciones más altas de elementos asociados a minerales metálicos.

El primer nivel, de 0.0 a 1.50 m, se caracteriza por concentraciones moderadamente altas en Fe, Pb y S, así como horizontes anómalos en Zn de 4138 ppm LC-III-1-3707 y 3439 ppm LC-III-1-3738. El Au alcanza en promedio 1.47 ppm Au.

El segundo nivel, de 1.50 a 2.25 m, está definido por valores ligeramente bajos en todos los elementos que forman minerales metálicos.

En el tercer nivel, de 2.25 a 3.25 m, las concentraciones de elementos se incrementan hasta rangos de ligeramente altos, a excepción del Au que permanece desde el segundo nivel como ligeramente bajo con 1.13 ppm Au en promedio para este tercer nivel.

El cuarto nivel, entre los 3.25 a 3.85 m, contrasta notablemente con los otros niveles porque reporta valores anómalos en Ag, As, Sb, Cu, Fe y Pb, y el promedio en Au es moderadamente alto 1.75 ppm Au.

Cuadro 5.16

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito III

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-III-1-3706	0.00	0.10	0.10	LC-III-1	III	Nivel 1	1.47	1.36	3.6	6153	24	85	5.70	3620	725	3.2
2	LC-III-1-3707	0.10	0.25	0.15	LC-III-1	III			1.25	4.0	7496	31	120	8.40	3885	4138	6.6
3	LC-III-1-3708	0.25	0.50	0.25	LC-III-1	III			1.74	6.7	9206	49	154	8.70	6017	3439	6.8
4	LC-III-1-3709	0.50	0.75	0.25	LC-III-1	III			1.60	6.4	8431	27	131	8.30	4601	2330	6
5	LC-III-1-3710	0.75	1.00	0.25	LC-III-1	III			1.43	3.7	6994	26	178	7.40	3050	1323	5.2
6	LC-III-1-3711	1.00	1.25	0.25	LC-III-1	III			1.41	4.2	7530	24	157	8.00	3587	1720	5.8
7	LC-III-1-3712	1.25	1.50	0.25	LC-III-1	III			1.48	5.8	8365	34	167	8.60	3997	1741	6.2
8	LC-III-1-3713	1.50	1.75	0.25	LC-III-1	III	Nivel 2	1.22	1.16	1.0	6136	21	160	6.90	1508	685	4.7
9	LC-III-1-3714	1.75	2.00	0.25	LC-III-1	III			1.22	1.0	6178	18	118	6.80	1629	691	4.5
10	LC-III-1-3715	2.00	2.25	0.25	LC-III-1	III			1.27	4.8	7355	27	147	6.90	3013	1080	4.5
11	LC-III-1-3716	2.25	2.50	0.25	LC-III-1	III	Nivel 3	1.13	1.09	5.8	7892	41	128	6.50	3076	890	3.9
12	LC-III-1-3717	2.50	2.75	0.25	LC-III-1	III			1.06	4.4	7861	35	124	6.60	2415	781	3.8
13	LC-III-1-3718	2.75	3.00	0.25	LC-III-1	III			1.15	6.2	7768	38	132	7.30	3743	1074	4.7
14	LC-III-1-3719	3.00	3.25	0.25	LC-III-1	III			1.20	5.9	8111	38	146	7.70	4248	1250	4.9
15	LC-III-1-3720	3.25	3.50	0.25	LC-III-1	III	Nivel 4	1.75	1.88	6.5	8763	38	226	7.90	4454	1294	5
16	LC-III-1-3721	3.50	3.85	0.35	LC-III-1	III			1.61	26.6	13 730	154	363	11.00	11 489	2683	3.9

5.4.4 Resultados geoquímicos en el depósito IV (Sondaje LC-IV-1)

El sondaje LC-IV-1 se ubicó en la parte media del depósito de relaves IV con un alcance de 2.65 m, y alcanza la base del depósito. En este sondaje, se tomaron 10 muestras (cuadro 5.17).

Este sondaje se caracteriza por presentar valores anómalos en Ag, alcanzando hasta 24.2 ppm Ag en la muestra LC-IV-1-3730.

Se diferencian cuatro niveles geoquímicos, el primero entre los 0.00 y 0.25 m, con valores moderadamente altos en la capa superficial alterada de color amarillo blanquecino, en Au,

Ag, Sb y Pb; seguido de un segundo nivel: de 0.25 a 0.70 m, en donde estas concentraciones bajan a rangos ligeramente altos, a excepción del Fe que se enriquece en comparación al primer nivel.

En el tercer nivel, las concentraciones disminuyen hasta rangos ligeramente bajos para la mayoría de los elementos, a excepción del Cu.

El cuarto nivel, de 1.75 a 2.65 m, que conforma la base del sondaje presenta valores anómalos en los relaves La Ciénaga para la Ag, As, Sb, Cu, Fe, Pb y Zn; en contraste, la concentración en Au es ligeramente baja 1.29 ppm Au en promedio.

Cuadro 5.17

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito IV

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-IV-1-3722	0.00	0.25	0.25	LC-IV-1	IV	Nivel 1	1.65	1.65	10.7	6218	42	95	6.10	4906	316	1.7
2	LC-IV-1-3723	0.25	0.50	0.25	LC-IV-1	IV			1.32	6.9	8759	34	140	8.20	3846	2310	5.9
3	LC-IV-1-3724	0.50	0.70	0.20	LC-IV-1	IV	Nivel 2	1.41	1.49	6.9	8793	34	123	8.50	3707	4887	6.2
4	LC-IV-1-3725	0.70	1.00	0.30	LC-IV-1	IV			1.23	6.4	7096	28	189	6.70	2955	1621	4
5	LC-IV-1-3726	1.00	1.15	0.15	LC-IV-1	IV			1.11	4.0	6471	26	198	6.00	2088	827	3.3
6	LC-IV-1-3727	1.15	1.50	0.35	LC-IV-1	IV	Nivel 3	1.12	0.96	3.9	6744	33	120	6.70	3004	1127	3.8
7	LC-IV-1-3728	1.50	1.75	0.25	LC-IV-1	IV			1.18	5.4	7447	33	134	7.40	3932	1395	4.4
8	LC-IV-1-3729	1.75	2.10	0.35	LC-IV-1	IV			1.70	9.4	8384	44	179	8.10	4386	2092	6
9	LC-IV-1-3730	2.10	2.35	0.20	LC-IV-1	IV			1.14	24.2	13 089	134	437	11.00	12 753	3625	2.5
10	LC-IV-1-3731	2.30	2.65	0.35	LC-IV-1	IV	Nivel 4	1.29	1.03	16.4	10 908	97	364	10.00	12 406	4314	1.60

5.4.5 Resultados geoquímicos en el depósito V (Sondaje LC-V-1)

El sondaje LC-V-1 se ubicó en la parte media del depósito de relaves V, con un alcance de 3.50 m, que alcanza la base del depósito. En este sondaje, se tomaron 14 muestras (cuadro 5.18).

Este sondaje se caracteriza por anomalías de Ag junto a anomalías en elementos de metales base tales como As, Sb, Cu, Fe, Pb y Zn; asimismo, es notable la concentración más baja en Au para este depósito de relaves en comparación con los otros cuatro, alcanzando 1.10 ppm Au en promedio.

Se diferencian cinco niveles geoquímicos, el primero entre los 0.0 y 1.0 m de profundidad el que presenta menores concentraciones predominado rangos ligeramente bajos en Au, Ag, Sb, Cu, Fe y Zn, así como moderadamente bajos en As.

El segundo nivel, entre 1.0 y 1.5 m, presenta Fe y S en intensidades moderadamente altas y puntualmente el Au, As y Fe.

El tercer nivel, entre 1.60 y 2.05 tiene contenidos moderadamente bajos en Au 1.10 ppm Au y S 2.55 % junto a anomalías en Ag, As, Sb, Cu, Fe, Pb y Zn.

En el cuarto nivel, entre 2.05 y 3.0 m, la concentración de Au y demás elementos baja notablemente en contraste al nivel inmediato superior, predominando intensidades ligeramente baja y ligeramente altas.

El quinto nivel, entre 3.0 y 3.5 m, muestra un comportamiento similar al del tercer nivel, con valores bajos en Au y anomalías en Ag, As, Sb, Cu, Fe, Pb y Zn.

Cuadro 5.18

Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito V

Orden	Código	De (m)	A (m)	Pot. (m)	Sondaje	DEP.	Nivel	Promedio Au (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	S (%)
1	LC-V-1-3732	0.00	0.20	0.20	LC-V-1	V	Nivel 1	1.07	0.90	2.1	6294	22	61	5.20	1694	323	1.8
2	LC-V-1-3733	0.20	0.50	0.30	LC-V-1	V			1.09	4.5	6655	27	119	7.60	3428	2038	5
3	LC-V-1-3734	0.50	0.75	0.25	LC-V-1	V			1.08	2.3	5982	20	109	7.00	2451	929	4.3
4	LC-V-1-3735	0.75	1.00	0.25	LC-V-1	V			1.19	5.9	7632	38	126	7.20	3899	1348	4.8
5	LC-V-1-3736	1.00	1.25	0.25	LC-V-1	V	Nivel 2	1.62	1.65	7.9	9132	38	140	8.20	4549	1798	6.5
6	LC-V-1-3737	1.25	1.50	0.25	LC-V-1	V			1.59	6.2	8583	32	150	8.50	3839	1561	6.6
7	LC-V-1-3738	1.60	1.75	0.15	LC-V-1	V	Nivel 3	1.01	1.18	29.8	13668	164	397	12.00	13 666	3413	3.2
8	LC-V-1-3739	1.75	2.05	0.30	LC-V-1	V			0.84	19.1	12 209	147	408	11.00	15 009	4138	1.90
9	LC-V-1-3740	2.05	2.25	0.20	LC-V-1	V	Nivel 4	0.82	0.77	2.9	7464	24	161	7.80	4056	1596	4.3
10	LC-V-1-3741	2.25	2.50	0.25	LC-V-1	V			0.89	1.0	7864	35	139	7.90	3737	1677	4.3
11	LC-V-1-3742	2.50	2.75	0.25	LC-V-1	V			0.70	1.0	8660	24	119	6.40	3487	1627	3
12	LC-V-1-3743	2.75	3.00	0.25	LC-V-1	V			0.93	2.3	8755	21	126	6.20	3275	1585	3
13	LC-V-1-3744	3.00	3.30	0.30	LC-V-1	V	Nivel 5	1.32	1.10	15.8	8676	22	143	6.80	3756	1618	3.1
14	LC-V-1-3745	3.30	3.50	0.20	LC-V-1	V			1.54	28.6	11 252	127	259	9.40	8960	2996	2.5

5.5 REPRODUCIBILIDAD ANALÍTICA ENTRE MUESTREOS POR SONDAJES “AUGER” VS. TRINCHERA

Es una evaluación realizada en base a la comparación de 41 muestras de sondajes Auger y 20 muestras de la trinchera LC-I (figuras 5.30 y 5.31).

En el flanco oeste del depósito de relaves I, se realizó un muestreo geoquímico a través de tres sondajes Auger LC-I-5, LC-I-4 y LC-I-6, paralelos y colindantes a la trinchera LC-I, en

tres niveles que abarcan desde la base hasta el tope del depósito cubriendo 8.61 m en vertical. Estos 3 sondajes en conjunto son tratados como “sondajes gemelos”.

El objetivo es evaluar la representatividad del muestreo para Au, empleando este equipo portátil en comparación con el muestreo de detalle realizado mediante la trinchera LC-I, asimismo evaluar la variabilidad lateral del material de relaves.

Los datos de la trinchera y sondajes se presenta en el cuadro 5.19.

Cuadro 5.19

Sondajes “gemelos” para evaluación de representatividad de muestreo

Muestreo	Coordenadas	Profundidad	Total de muestras	Ángulo	Equivalencia en tramo LC-I
Trinchera LC-I	214928 E 9138883 N	8.61 m	20 (LC-I-001 - LC-I-005, LC-I-007 - LC-I-009, LC-I-011 - LC-I-019, LC-I-021 - LC-I-0023)	90°	-
Sondaje LC-I-5	214921 E 9138880 N	3.35 m	9 (LC-I-5-3664 - LC-I-5-3672)	45°	Base de la trinchera (7.05 m - 8.61 m)
Sondaje LC-I-4	214926 E 9138882 N	3.90 m	16 (LC-I-4-3648 - LC-I-4-3663)	90°	Parte media de la trinchera (4.75 m - 7.05 m)
Sondaje LC-I-6	214935 E 9138878 N	4 m	16 (LC-I-6-3673 - LC-I-6-3688)	90°	Tope de la trinchera (0 - 4.75 m)



Figura 5.30 Ubicación de trinchera y sondajes “gemelos” – Vista en Planta

El sondaje Auger permitió realizar un muestreo de hasta 4 m de profundidad sin problemas, las cuales se obtuvieron en intervalos

de 25 cm, siendo la resolución práctica de estos sondajes aproximadamente de 8.61 cm.

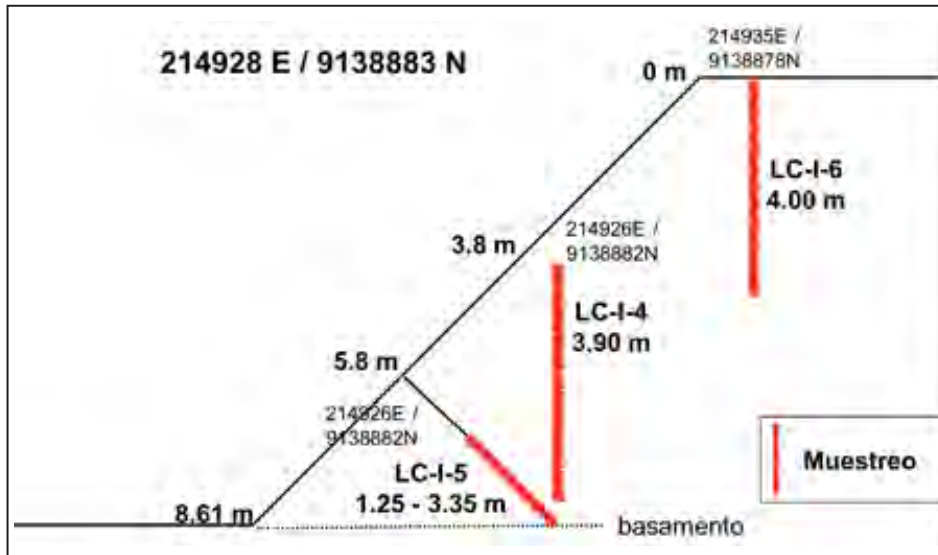


Figura 5.31 Esquema de ubicación de sondajes “gemelos” – Vista en perfil modificado de Morche (2019)

5.5.1 Descripción de los resultados

La descripción corresponde a la comparación de los resultados geoquímicos por Au, reportados por el laboratorio de AGQ Labs Perú, en la trinchera y en los sondajes gemelos.

Para optimizar la comparación, se dividió la trinchera en 15 tramos (cuadro 5.20), en función de los resultados obtenidos del análisis individual de la trinchera LC-I (ítem 5.3). En el siguiente cuadro, se presentan las muestras equivalentes a los sondajes Auger.

Cuadro 5.20

Tramos de equivalencias entre muestreos “principales” y “gemelos”

Tramo Equivalente	Muestras de la trinchera	De (m)	A (m)	Muestras de los sondajes equivalentes
Tramo 1	LC-I-023	0	0.9	LC-I-6-3673, LC-I-6-3674
Tramo 2	LC-I-022	0.9	1.2	LC-I-6-3675, LC-I-6-3676
Tramo 3	LC-I-021	1.2	1.8	LC-I-6-3677, LC-I-6-3678, LC-I-6-3679
Tramo 4	LC-I-019, LC-I-018	1.8	2.35	LC-I-6-3680, LC-I-6-3681
Tramo 5	LC-I-017, LC-I-016, LC-I-015	2.35	3.85	LC-I-6-3682, LC-I-6-3683, LC-I-6-3684, LC-I-6-3685
Tramo 6	LC-I-014, LC-I-013	3.85	4.75	LC-I-6-3686, LC-I-6-3687, LC-I-6-3688
Tramo 7	LC-I-012, LC-I-011	4.75	5.7	LC-I-4-3654, LC-I-4-3655, LC-I-4-3656, LC-I-4-3657
Tramo 8	LC-I-009	5.7	6.15	LC-I-4-3658
Tramo 9	LC-I-008, LC-I-007	6.15	7.05	LC-I-4-3659, LC-I-4-3660, LC-I-4-3661, LC-I-4-3662, LC-I-4-3663
Tramo 10	LC-I-004	7.7	7.8	LC-I-5-3664, LC-I-5-3665
Tramo 11	LC-I-003, LC-I-002	7.8	8.11	LC-I-5-3666, LC-I-5-3667, LC-I-5-3668, LC-I-5-3669, LC-I-5-3670
Tramo 12	LC-I-001	8.11	8.61	LC-I-5-3671

Los niveles de reproducibilidad analítica entre las muestras procedentes de la trinchera y el sondaje Auger presentaron valores menores al 11 % RPD (figura 5.34). Los valores reportados por la trinchera tienden a ser más altos; esto se evidencia en nueve de los 12 tramos evaluados (figura 5.32).

El tramo 12 correspondiente a la muestra de la trinchera LC-I-001, que abarca desde los 8.11 m hasta 8.61 m y la muestra equivalente LC-I-5-3671 del sondaje LC-I-5, presentaron valores promedios de 2.56 ppm (anomalía positiva) y 2.06 ppm

(fuertemente alto), respectivamente, mostrando un valor de 10.82 % RPD (figura 5.33).

En el tramo 6, ubicado entre los 3.85 m hasta los 4.75 m, las muestras LC-I-014 y LC-I-013 denotaron un valor promedio de 1.44 ppm (ligeramente alto), en tanto que las muestras equivalentes LC-I-6-3686, LC-I-6-3687 y LC-I-6-3688 mostraron un promedio de 1.16 ppm (ligeramente bajo), siendo la variabilidad de dicho tramo 10.6 % RPD; en cambio, en 10 tramos (1-5, 7-11), las muestras presentaron una variabilidad de Au menores a 8 % RPD, es decir en el 83 % del total de tramos.

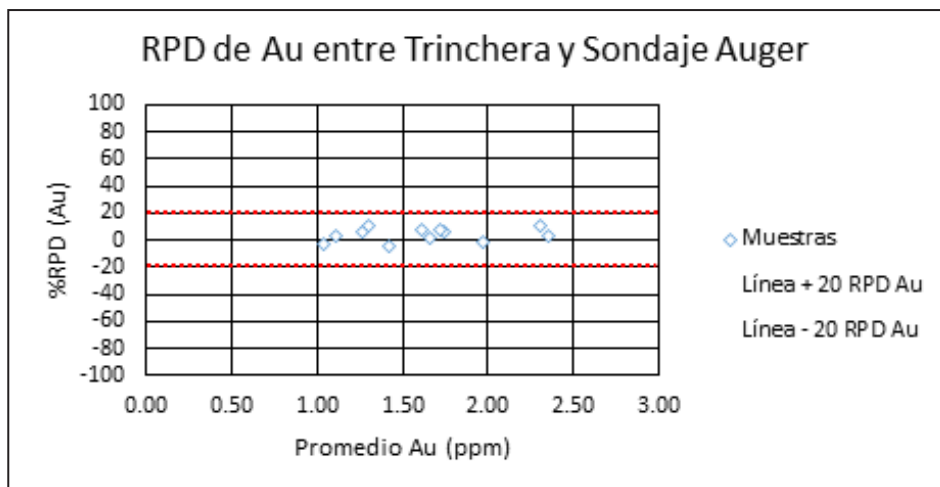


Figura 5.32 RPD de Au entre trinchera y sondaje

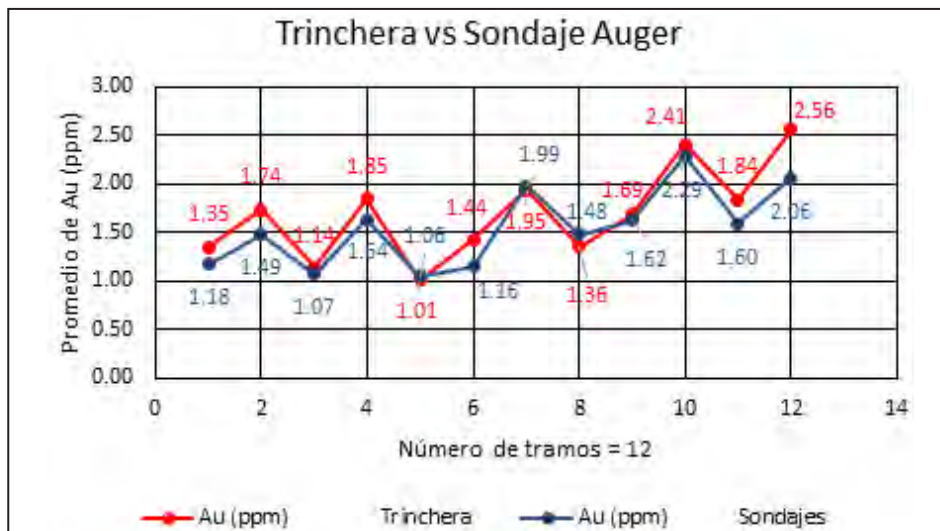


Figura 5.33 Resultados comparativos por tramos – trinchera vs. sondajes Auger

5.5.2 Resultados

El nivel de reproducibilidad analítica entre la trinchera y el sondaje Auger es menor a 11 % RPD, siendo los valores reportados por la trinchera más altos; esto se evidencia en nueve tramos, es decir el 75 % (figura 5.34).

El muestreo a través del sondaje Auger mostró buena representatividad, la cual se evidencia en el 83 % de tramos donde la variabilidad de Au en comparación con las concentraciones de la trinchera es <8 % RPD y <5 % RPD para el 50 % de las muestras (figura 5.35).

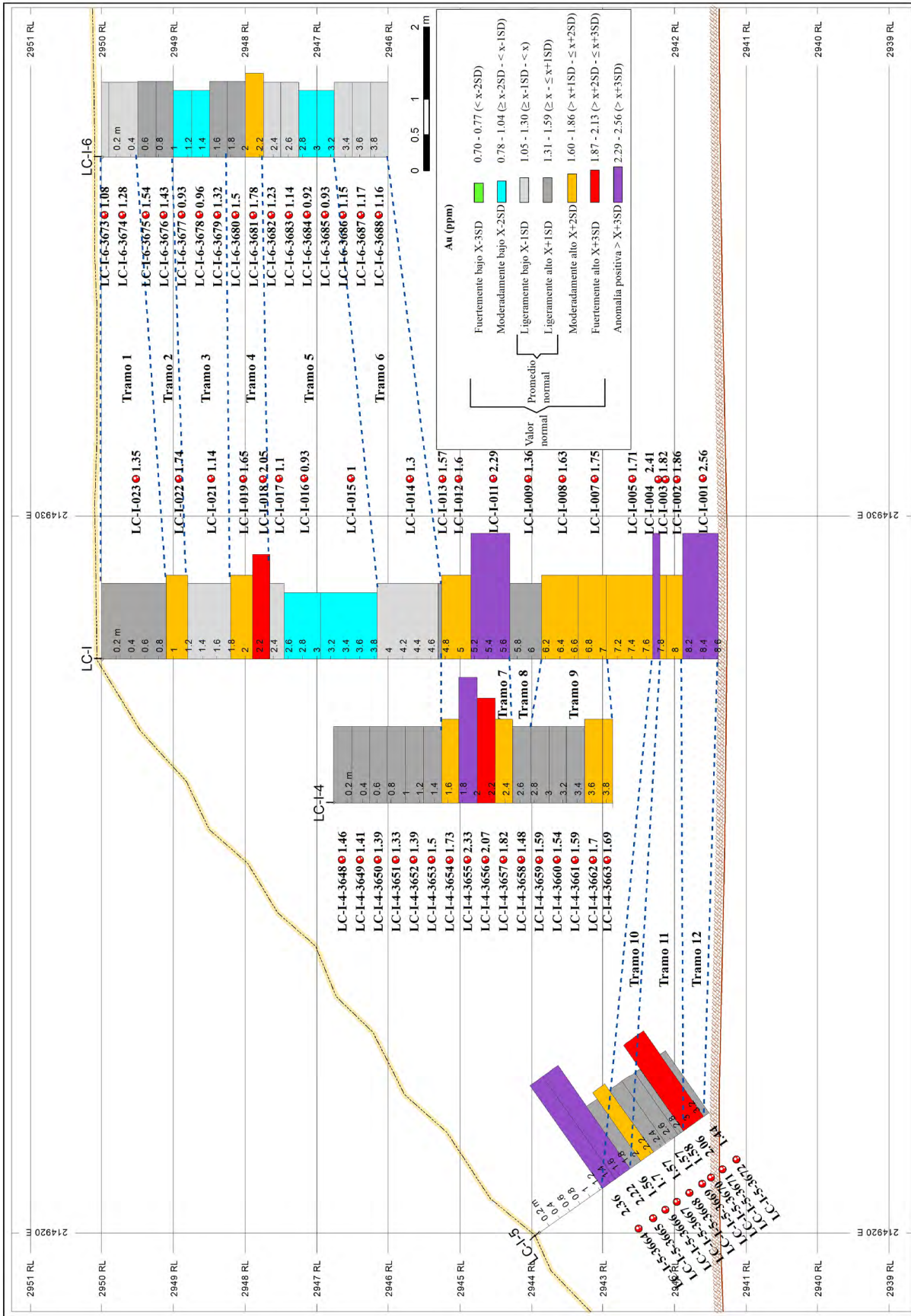


Figura 5.34 Concentración geoquímica de Au por tramos – trinchera vs. sondajes “gemelos”

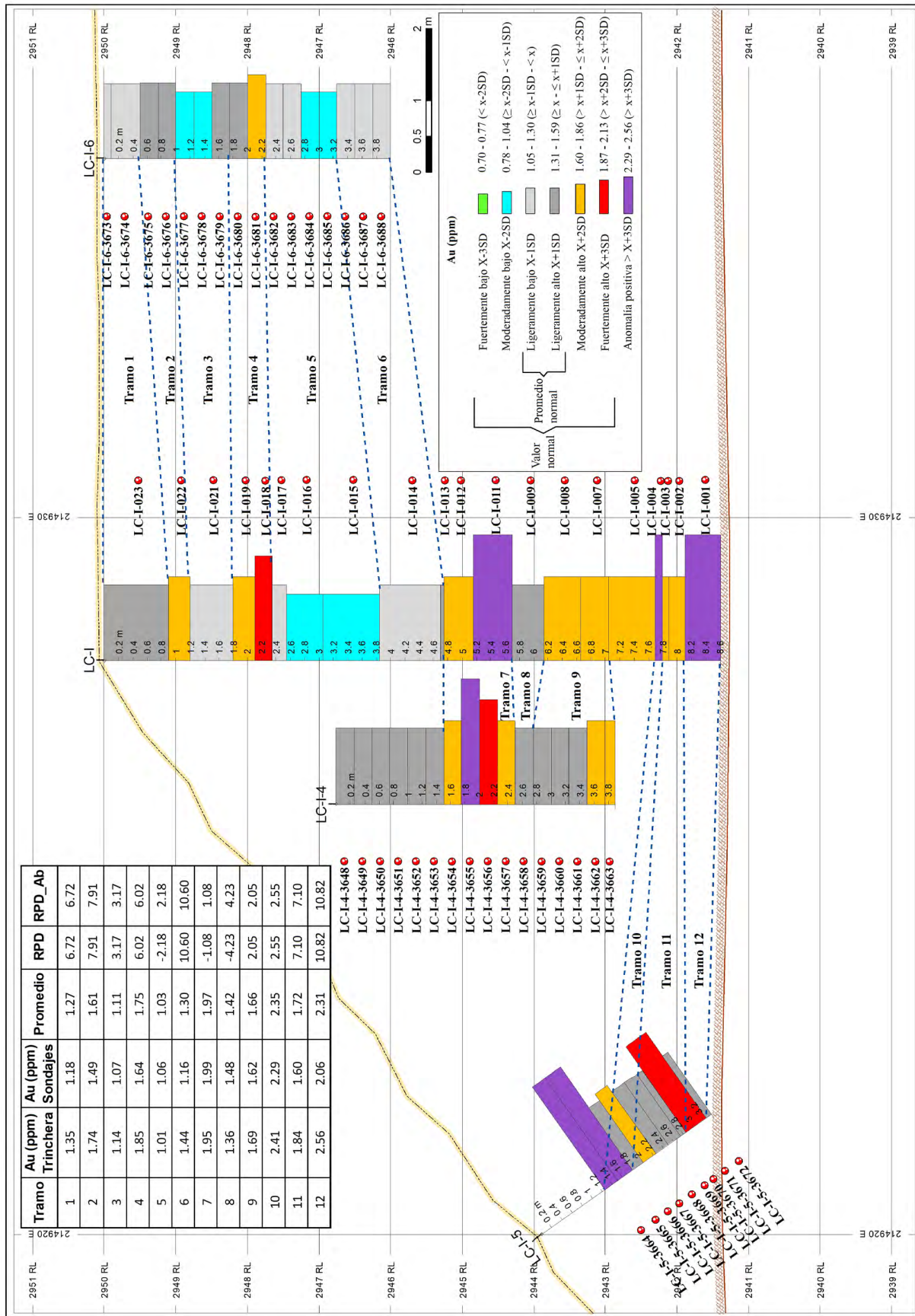


Figura 5.35 Resultados RPD por tramos – trinchera vs. sondajes "gemelos"

CAPÍTULO VI

GEOQUÍMICA DE AGUAS

6.1 GENERALIDADES

El muestreo fue realizado a lo largo de la quebrada Santa María, que se ubica al este de los depósitos La Ciénaga. Esta es una quebrada de primer orden que drena sus aguas al río Hualanga que se une con el río Marañón (figura 6.1).

A lo largo del curso de la quebrada, el agua es desviada en varios puntos, fundamentalmente para ser usado en los trabajos de minería artesanal, encontrándose la quebrada seca por varios

tramos; asimismo, el agua de los trabajos mineros es vertida nuevamente a la quebrada.

Sus aguas se presentan turbias, con tonalidades blanquecinas, que presentan flujo moderado y muy rápido hacia su desembocadura en el río Hualanga. Estas aguas cargan gran cantidad de material en suspensión siendo necesario el empleo de incluso tres filtros para el muestreo de aguas para análisis de metales disueltos (fotografía 6.1).

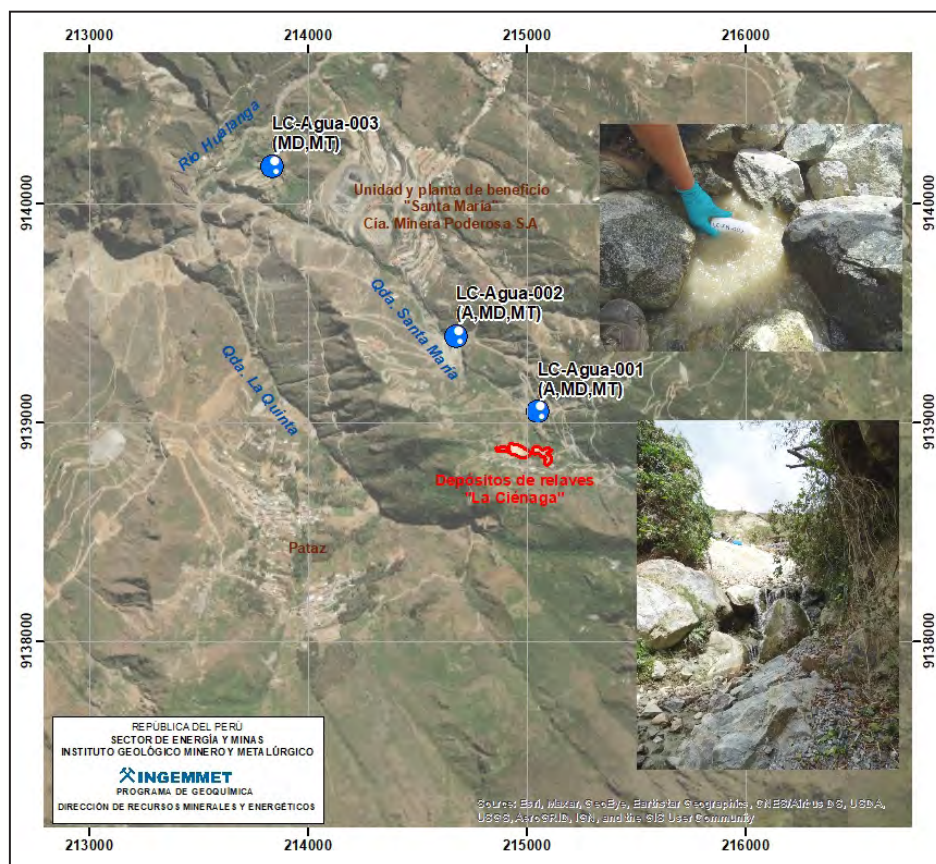


Figura 6.1 Ubicación muestras de agua



Fotografía 6.1 Filtros para agua. Derecha: sin uso. Izquierda: filtro reteniendo partículas en suspensión

De acuerdo con la información de los pobladores de La Ciénaga, el agua para consumo humano procede de la quebrada La Quinta que se ubica al oeste (figura 6.1). En la unidad minera y planta de beneficio Santa María, el agua para consumo procede de su planta de tratamiento que es monitoreada frecuentemente; los trabajos de campo no incluyeron el muestreo de estas aguas.

La zona en general presenta gran actividad minera, desde las partes más altas de la quebrada a donde no se pudo acceder

por permisos y por el riesgo de caída de bloques producto de los desmontes mineros que se acumulan en su cauce y bordes.

Se recolectaron 10 muestras en tres estaciones (cuadro 6.1); la primera estación de muestreo se ubicó en las cercanías a los relaves La Ciénaga, la segunda antes de las instalaciones de la Unidad y planta de beneficio Santa María y la tercera pasando estas instalaciones, cercana a la desembocadura en el río Hualanga (figura 6.1).

Cuadro 6.1

Relación de muestras de agua

Estación	Código	Tipo ensayo	Este WGS84_Z18	Norte WGS84_Z18	Cota m s. n. m.	Procedencia
1	LC-AN-001	Aniones	215048	9139050	2870	Quebrada Santa María
	LC-CA-001	Aniones-carbonatos				
	LC-MT-001	Metales totales				
	LC-MD-001	Metales disueltos				
2	LC-AN-002	Aniones	214677	9139396	2593	
	LC-CA-002	Aniones-carbonatos				
	LC-MT-002	Metales totales				
	LC-MD-002	Metales disueltos				
3	LC-MT-003	Metales totales	213835	9140171		
	LC-MD-003	Metales disueltos				

6.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

El total de muestras fueron analizadas en los laboratorios del Ingemmet (anexo 8), y los resultados muestran concentraciones en elementos y aniones por encima de los Estándares de Calidad Ambiental ECA para Agua establecido para el Perú, según

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, así como encima de los promedios de composición elemental de la materia disuelta y en suspensión en aguas superficiales según los valores de referencia de la tabla de Martín y Whitfield del año 1983, en el libro de Rivera, H. (2001). Las concentraciones que sobrepasan estos valores se muestran en los cuadros 6.2, 6.3 y 6.4.

Cuadro 6.2

Resultados analíticos por metales disueltos

Análisis por aniones								
N°	Código de muestra	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	NO ₂ ⁻
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	LC-AN-001	-	-	<0.2	0.8	98.8	48.6	3.7
3	LC-CA-001	<1	72	-	-	-	-	-
2	LC-AN-002	-	-	<0.2	1.4	110.8	65.6	1.4
4	LC-CA-002	<1	70	-	-	-	-	-

ECA_Ambiente acuático ríos sierra

13

ECA_Agua para recreación

10

1

ECA Para potabilización

50

3

Cuadro 6.3

Resultados analíticos por metales disueltos

Análisis por metales disueltos (mg/L)											
Cód.	Na	Mg	K	Ca	Al	As	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb
LC-MD-001	5.6	5.6	1.4	64.7	0.022	0.212	0.002	0.002	0.001	0.001	0.009
LC-MD-002	5.9	6.7	1.3	71.8	0.057	0.266	0.002	0.002	0.001	0.002	0.008
LC-MD-003	6.8	5.1	1.7	51.9	0.054	0.205	0.002	0.004	0.002	0.005	0.006

Martín y Whitfield en
Rivera, H. (2001).

5.3

3.1

1.5

13.3

0.05

0.002

0.001

0.001

0.001

0.000

Cuadro 6.4

Resultados analíticos por metales totales

Análisis por metales totales (mg/L)														
Cód.	Na	Mg	K	Ca	Al	As	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	V
LC-MT-001	6.3	15.1	2.3	74.1	14.242	0.820	0.046	21.88	0.527	0.002	0.015	0.270	0.009	0.070
LC-MT-002	8.3	33.7	4.4	100.9	37.836	1.635	0.109	64.86	1.181	0.002	0.040	0.516	0.009	0.191
LC-MT-003	9.5	21.4	6.3	79.4	31.814	1.283	0.080	49.11	1.055	0.004	0.031	0.820	0.008	0.139

ECA_Ambiente acuático ríos sierra

0.15

0.1

0.52

0.003

0.64

ECA_Agua para recreación

0.2

0.01

2

0.3

0.1

0.01

0.006

0.1

ECA Para potabilización

0.9

0.01

2

0.3

0.4

0.07

0.02

0.01

0.02

Se desconoce los valores de fondo para aguas; en cuanto a la quebrada Santa María, desde sus nacientes se emplea y vierte agua de varias labores mineras trabajadas por pequeños mineros.

• Nitratos y nitritos

Presencia de nitratos NO_3^- y nitritos NO_2^- sobre los Límites Máximos Permisibles LMP, con concentraciones elevadas de nitritos del orden 2 veces el LMP para potabilización de aguas y 11 veces para uso en recreación (cuadro 6.2).

La fuente de los iones de nitratos y nitritos sería la minería artesanal que se desarrolla intensamente en la zona, la misma que fue observada en los alrededores a los puntos de muestreo y cuyo empleo se da fundamentalmente como agente de detonación en forma de nitrato de amonio mezclado con hidrocarburos. Se conoce que otra fuente importante de nitratos es el empleado en agricultura como fertilizante, sin embargo, en las estaciones de muestreo esta no se desarrolla.

• Arsénico

Presenta concentraciones fuertemente anómalas y sobre los LMP para uso para potabilización de agua, recreación, riego y para los ambientes acuáticos de los ríos de la sierra; en las tres estaciones de muestreo, tanto en As total como en As disuelto.

El As total para los tres puntos de muestreo está concentrado de 5 a 11 veces los ECA para los ambientes acuáticos de los ríos de la sierra y para las aguas superficiales que pueden ser

potabilizadas con tratamiento avanzado; y de 1 a 2 veces el As disuelto para los mismos ítems (cuadros 6.3 y 6.4).

El arsénico biodisponible representa el 16 al 26 % del arsénico total; este es sumamente peligroso en cuanto no es estable y está listo para integrarse a los cuerpos orgánicos. La Organización Mundial de la Salud menciona en su página web (https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/arsenic/es/) que la exposición prolongada del arsénico puede causar cáncer, lesiones cutáneas, y está asociado a enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes.

Estos resultados están mostrando que el agua de la quebrada Santa María es altamente nociva para la salud de la población y del medio ambiente, no teniéndose registro de los problemas de salud que pueden haber originado en los pobladores del lugar y en las zonas de influencia, así como del alcance de esta contaminación.

Los elementos Al, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb y V tienen concentraciones por encima de los ECA para aguas. El As total muestra correlación directa con Al, Cr, Fe, Mn, Ni, V y Cu y podría estar asociado a la presencia de arsenopirita como parte de la mena de la zona.

El Pb total muestra correlación directa con Pb, Zn y Ag y podría estar asociado a la presencia de galena que también es un mineral frecuente en el área. Asimismo, muestra correlación inversa con el Sb.

CAPÍTULO VII

GEOQUÍMICA DE SUELOS

7.1 GENERALIDADES

Se realizó un muestreo de suelos con el objetivo de determinar los niveles de concentración de elementos en los suelos cercanos a los depósitos de relaves La Ciénaga y así también evaluar su influencia y alcance.

Las muestras se tomaron al norte del depósito "I", en 03 estaciones de muestreo (figura 7.1 y cuadro 7.1), recolectándose dos muestras en cada estación considerándose una muestra de suelo superficial y una de suelo profundo, las cuales se tamizaron a través de una malla de acrílico #30 Abertura: 0.595 mm; las muestras de suelos fueron analizadas por el laboratorio de AGQ Perú Labs (anexo 9).

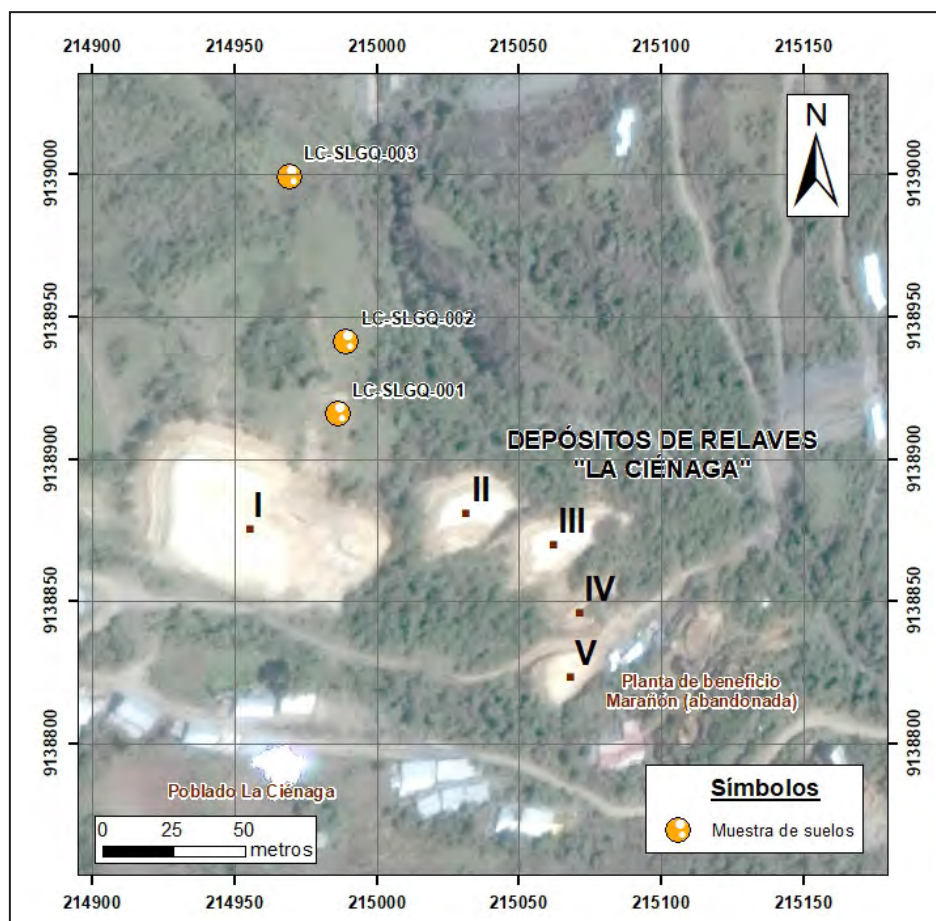


Figura 7.1 Ubicación muestras de suelo

Cuadro 7.1

Ubicación de muestras de suelos

Estac.	#	Código	Suelo según alcance	Profundidad de muestreo cm		Potencia de muestreo cm	Este WGS84 Zona 18	Norte WGS84 Zona 18	Cota m s. n. m.
				De	A				
1	1	LC-SLGQ-001S	Superficial	0	15	15	215,047	9,138,926	2 947
	4	LC-SLGQ-001P	Profundo	50	65	15			
2	2	LC-SLGQ-002S	Superficial	0	30	30	215,051	9,138,951	2 937
	5	LC-SLGQ-002P	Profundo	60	90	30			
3	3	LC-SLGQ-003S	Superficial	0	30	30	215,029	9,139,010	2 901
	6	LC-SLGQ-003P	Profundo	70	100	30			

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

• Estación de muestreo 01

Se ubica a 20 m del flanco norte del depósito de relaves I, el suelo superficial en esta estación es de color marrón oscuro, distinguiéndose polvo del relave alterado de color amarillo

blanquecino que se entremezcla con el suelo (cuadro 7.2); la muestra tomada corresponde a la LC-SLGQ-001S. El desarrollo de suelo es escaso, alcanza los 70 cm de profundidad material rocoso "in situ" correspondiente a granodioritas biotíticas (fotografía 6.1); entre los 50 y 65 cm de profundidad se recolectó la muestra LC-SLGQ-001P.

Cuadro 7.2

Características de las muestras de suelos

Orden	Código	Color	Granulometría al tacto	Descripción
1	LC-SLGQ-001S	Marrón oscuro	30 % Arcilla 50 % Limo 20 % Arena	Suelo orgánico con presencia de numerosas raíces de pasto. Superficialmente presencia de polvo de relave marrón amarillento.
2	LC-SLGQ-001P	Marrón amarillento	30 % Arcilla 40 % Limo 30 % Arena	Presencia de fragmentos angulosos de rocas tipo granodiorita biotítica.
3	LC-SLGQ-002S	Marrón oscuro	40 % Arcilla 40 % Limo 20 % Arena	Suelo cubierto de pasto.
4	LC-SLGQ-002P	Marrón amarillento	30 % Arcilla 40 % Limo 30 % Arena	Presencia de fragmentos angulosos de rocas tipo granodiorita biotítica.
5	LC-SLGQ-003S	Marrón oscuro	40 % Arcilla 40 % Limo 20 % Arena	Buen desarrollo de suelos orgánicos, de acuerdo a la información vertida por los pobladores del lugar, hasta el 2015 se sembraba papa en el área.
6	LC-SLGQ-003P	Marrón oscuro	40 % Arcilla 40 % Limo 20 % Arena	Suelo orgánico



Fotografía 7.1 Estación de muestreo 01, muestras: LC-SLGO-001S, LC-SLGO-001P

• Estación de muestreo 02

La estación de muestreo 02 fue ubicada a 25 m al norte de la estación 01; superficialmente está cubierta por pasto e inmediatamente debajo de esta se presenta el suelo con

color marrón oscuro recolectándose en este nivel la muestra LC-SLGO-002S. En profundidad, el suelo está entremezclado con material de relave alterado de tonalidad amarillenta y con bloques ígneos de granodiorita biotítica. La muestra LC-SLGO-002P corresponde a este nivel (cuadro 7.2 y fotografía 7.2).



Fotografía 7.2 Estación de muestreo 02, muestras: LC-SLGO-002S, LC-SLGO-002P



Fotografía 7.3 Estación de muestreo 03, muestras: LC-SLGQ-003S, LC-SLGQ-003P

• Estación de muestreo 03

Fue tomada a 65 m al NNO de la estación 02, área en la que se tiene buen desarrollo de suelos y acumulación de material fino por cambio a menor pendiente. De acuerdo con la información vertida por los pobladores del lugar, en el área se sembraba papa. Tanto la muestra superficial LC-SLGQ-003S, como la profunda LC-SLGQ-003P, presentan un color marrón oscuro (cuadro 7.2 y fotografía 7.3).

7.3 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Los suelos aledaños al depósito I registran elementos químicos procedentes de este, evidenciando el impacto de los relaves con el entorno. Estos elementos fundamentalmente comprenden Au, As y Pb.

La migración del Au, a partir del depósito I, define un vector cuyas concentraciones son mayores en los suelos superficiales de la estación 01 con un valor de 0.49 ppm, el cual disminuye hacia el norte en la estación 02 con un valor de 0.10 ppm, mostrando un ligero incremento en la estación 03 (0.21 ppm), donde el desarrollo del suelo es mayor incluyendo acumulación de material fino. Las concentraciones de Au no profundizan, estando presente únicamente en las muestras de suelos superficiales (figura 7.2).

La migración del As, a partir de los relaves La Ciénaga, es registrada en este estudio a lo largo de 103 m de distancia horizontal, desde el depósito de relaves I hasta la estación de

muestreo más alejada 03, con concentraciones superiores a 50 ppm As que es el valor consignado en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas regidos para el Perú. Las concentraciones están perfectamente vectorizadas, tanto en la horizontal como en profundidad, con valores más altos en las cercanías al depósito, así como en los suelos superficiales en comparación con los suelos profundos (figura 7.3).

La intensidad de las concentraciones en As, respecto al valor ECA, es 50 veces este valor en las cercanías al depósito I (estación 01), disminuyendo a mayores distancias con 7 y 5 veces en las estaciones 02 y 03 respectivamente en los suelos superficiales.

En los suelos profundos, también se han registrado concentraciones altas en As, ascendentes a 8, 6 y 3 veces los valores ECA suelos en las estaciones 01, 02 y 03 respectivamente; se constató que la estación 03 se emplea para apacentar ganado vacuno y los pobladores mencionaron que en años previos en el lugar se sembraba papa.

El Pb, procedente de los relaves La Ciénaga, también ha sido detectado en el total de estaciones muestreadas disminuyendo su concentración por el norte, a mayor distancia del depósito "I" (figura 7.3). En las estaciones 1 y 2, las concentraciones de Pb en los suelos superficiales están por encima de los estándares de calidad para suelos agrícolas ascendente a 70 ppm. En profundidad, los valores de Pb disminuyen hasta niveles por debajo de los valores de ECA para suelos agrícolas.

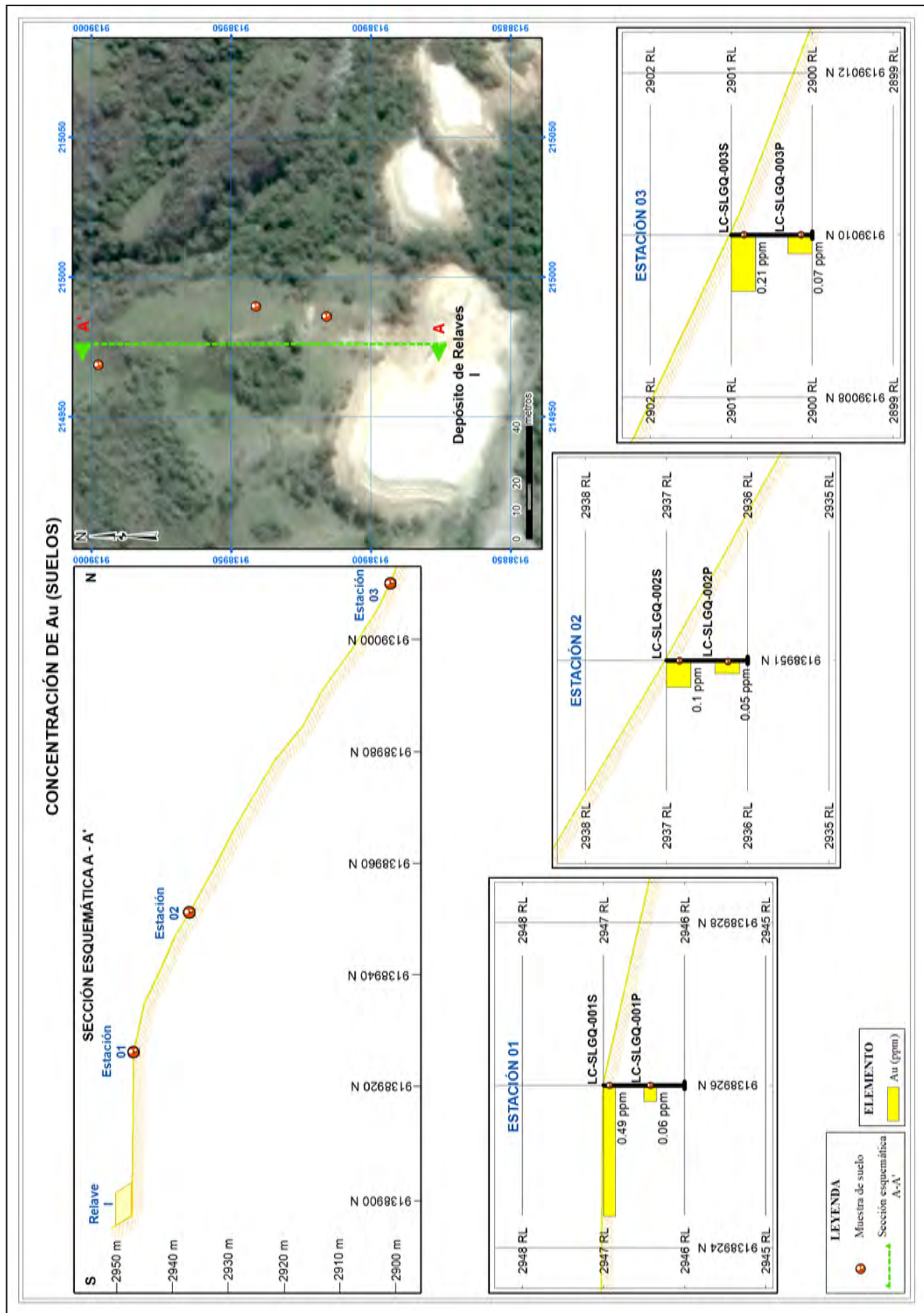


Figura 7.2 Distribución geoquímica de Au – Muestras de suelos

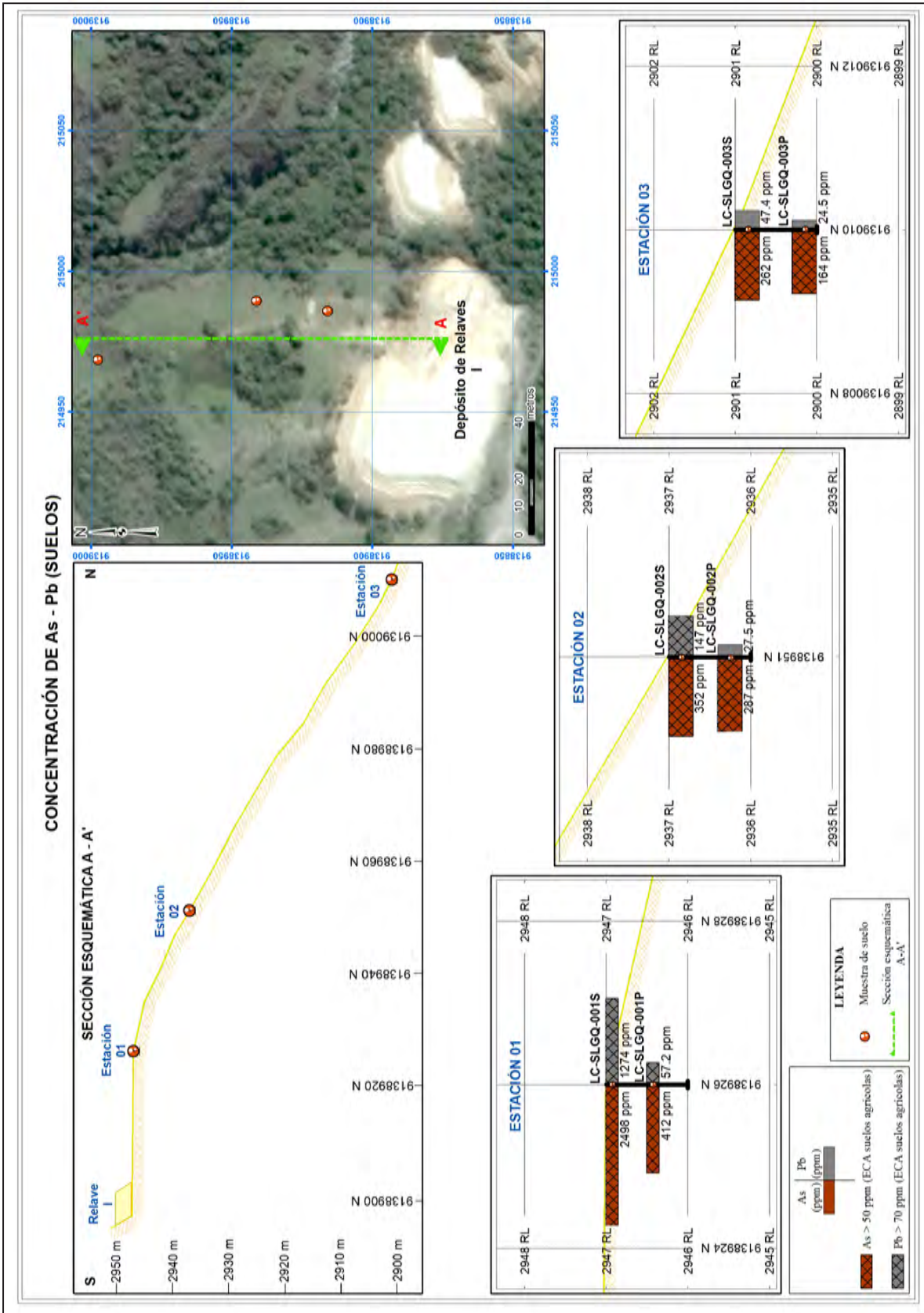


Figura 7.3 Distribución geoquímica de As y Pb – Muestras de suelos

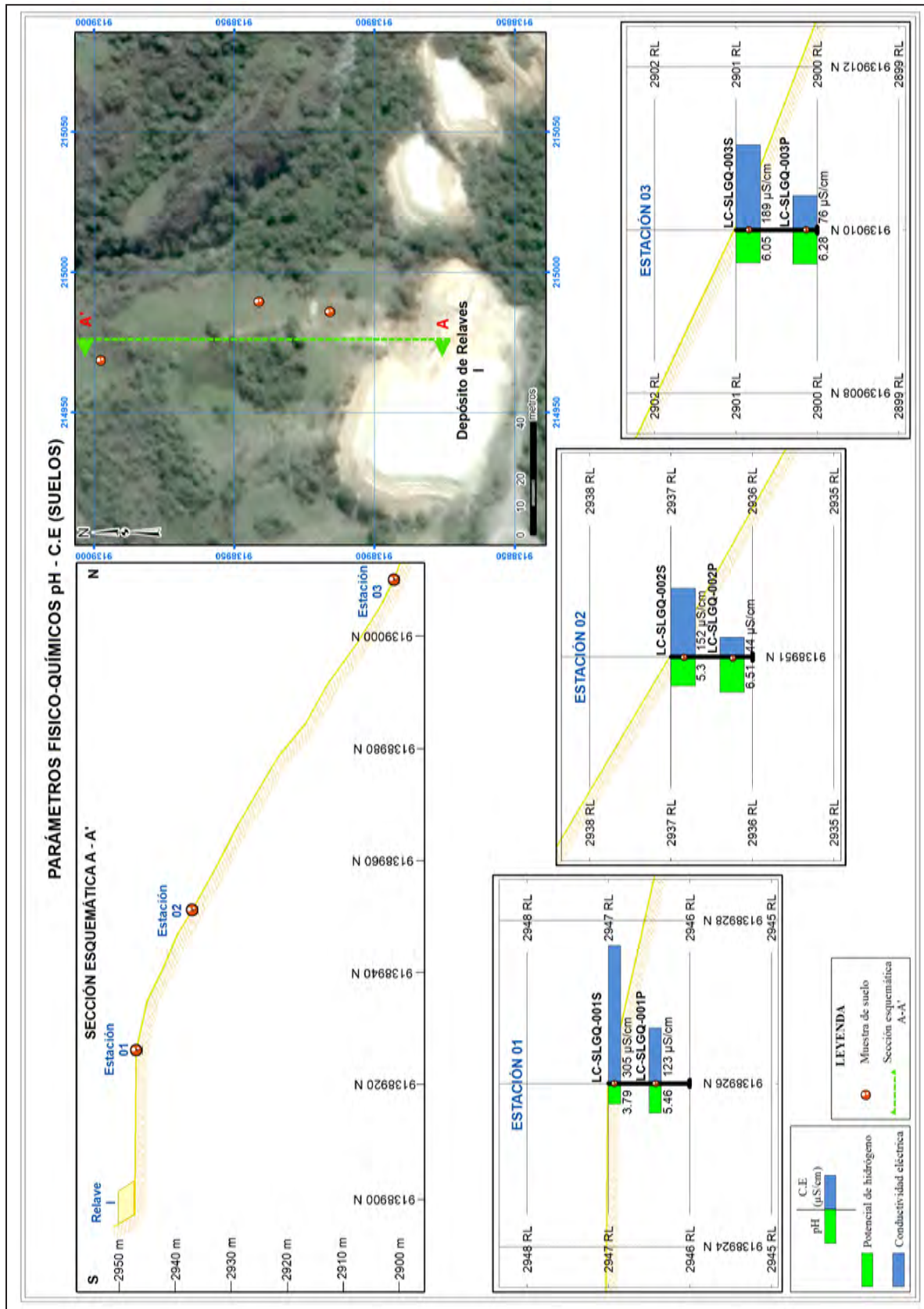


Figura 7.4 Distribución de pH y CE – Muestras de suelos

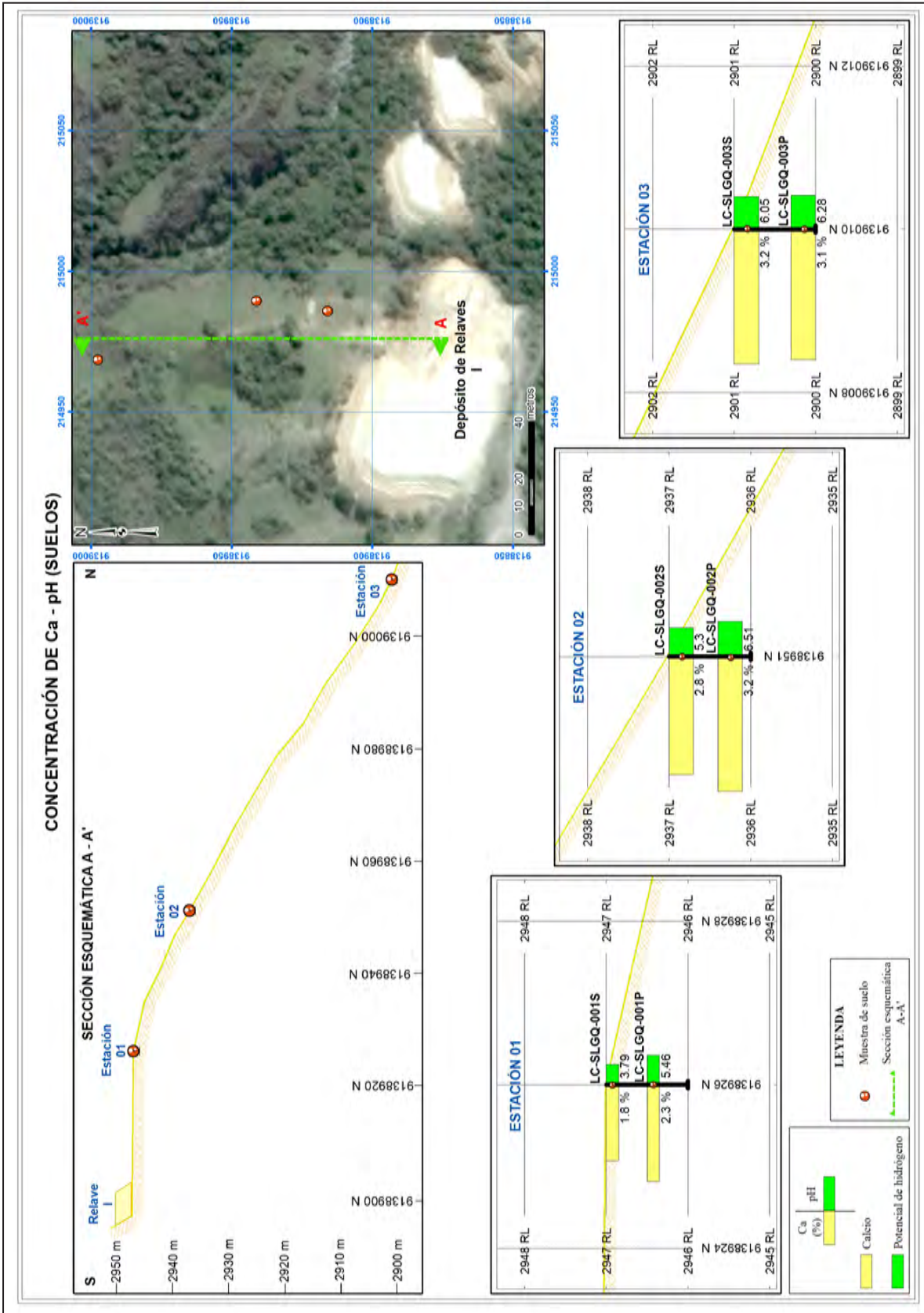


Figura 7.5 Distribución geoquímica de Ca y pH – Muestras de suelos

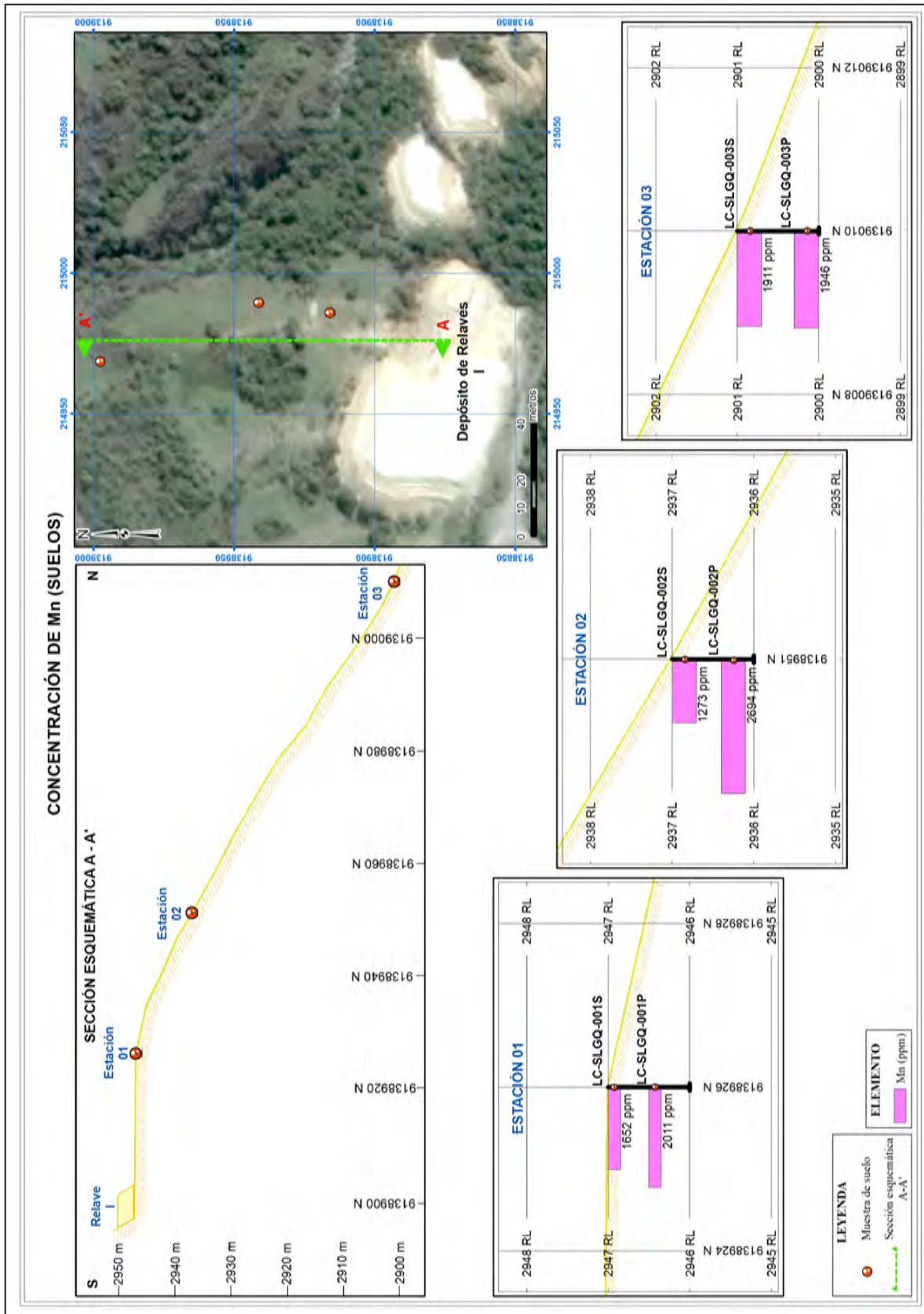


Figura 7.6 Distribución geoquímica de Mn – Muestras de suelos

La Ag y el Sb, presentes en los relaves La Ciénaga, no han sido reportados en los suelos muestreados, evidenciando que no hay migración significativa de estos elementos en los alrededores.

Los resultados en pH y CE también evidencian la influencia de los depósitos de relaves en los suelos superficiales aledaños, reportando suelos muy ácidos y fuertemente conductivos en las inmediaciones al depósito "I" (estación 01: pH:3.79 y CE: 305 $\mu\text{S}/\text{cm}$), favoreciendo la movilización de iones a partir de los depósitos, que disminuyen hacia el norte a mayor distancia de los relaves con valores de pH: 5.30 y CE: 152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 02 así como pH: 6.05 y CE: 189 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 03. En la estación 02, la CE es ligeramente menor al de la estación 03, debido probablemente a que en esta última estación la acumulación de material fino y desarrollo de suelo es mayor

habiendo acumulado mayor material procedente del depósito de relaves "I" en comparación con la estación 02. En profundidad la acidez y conductividad eléctrica disminuyen ligeramente respecto a la superficie (figura 7.4).

Los contenidos de Ca y Mn también están influenciados por la acidez generada a partir de los relaves La Ciénaga. Ambos elementos han sido movilizados mostrando concentraciones en superficie más bajas en las cercanías al depósito "I" correspondientes a la estación 01 1.8 % Ca, 1652 ppm Mn, incrementándose hacia la estación 02 2.8 % Ca, 1273 ppm Mn y aún más en la estación 03 3.2 % Ca, 1211 ppm Mn. Estos valores se incrementan en profundidad coherentemente con el incremento de pH. Se define una estrecha correlación entre el Ca y la acidez pH, tal como se ve en las figuras 7.5 y 7.7.

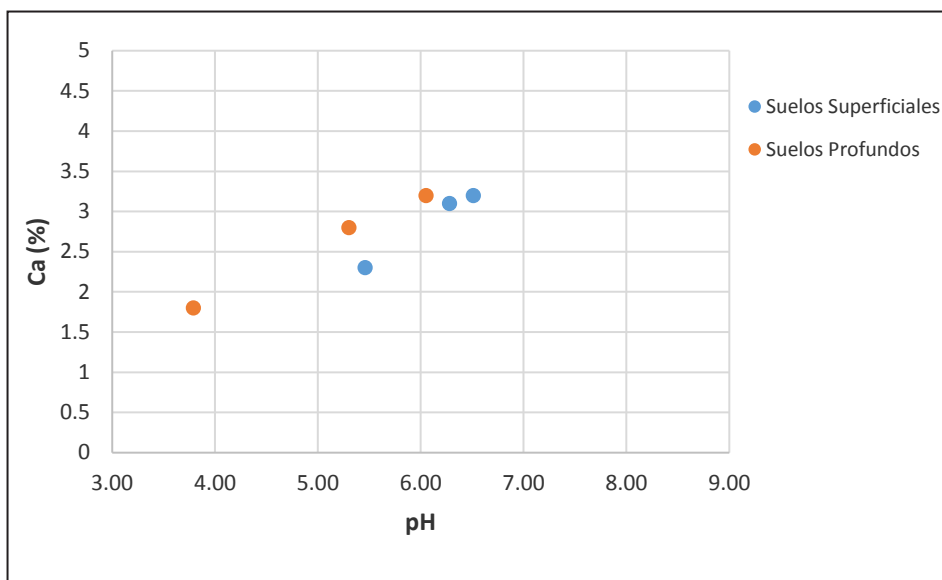


Figura 7.7 Gráfico de dispersión de Ca % vs. pH

7.4 GEOQUÍMICA AMBIENTAL

En el Perú se cuenta con los Estándares de Calidad Ambiental ECA para suelos, aprobados según Decreto Supremo N° 011-2017-MINAN. De los ocho parámetros inorgánicos analizados químicamente para el presente estudio, cinco están consignados en los ECA de suelo agrícola y corresponden al As, Ba total, Cd, Cr total y Pb (figuras 7.8 y 7.9).

Estos resultados analíticos reportan concentraciones en As superiores al ECA con 50 ppm para las 6 muestras recolectadas, siendo el valor más elevado el registrado a 20 m del depósito de relaves "I", en la muestra superficial LC-SLGQ-001S, con 2498 ppm As que representa 50 veces la concentración ECA

para este elemento, para las otras muestras las concentraciones varían entre 412 y 164 ppm As, que disminuyen hacia el norte a mayor distancia de los relaves. Estos resultados evidencian que los suelos situados, incluso a 100 m de distancia de los depósitos de relaves, están contaminados y no son aptos para cultivo; se desconoce la distancia total de influencia del material de relaves por falta de muestreos.

Dos concentraciones en Pb han registrado valores superiores al ECA 70 ppm, que corresponden a las muestras superficiales LC-SLGQ-001S 1274 ppm y LC-SLGQ-002S 57 ppm, ubicadas a 20 m y 45 m respectivamente del depósito de relaves "I". Estos resultados muestran una menor movilidad del Pb respecto al As, con un alcance de 45 m desde el depósito de relaves "I".

Una muestra reporta concentraciones sobre el valor ECA de 1.4 ppm para Cd, correspondiente a la LC-SLGQ-001S tomada en suelo superficial a 20 m del relave "I". Para las cinco muestras restantes no es posible una evaluación en cuanto reportaron valores menores al límite analítico de detección inferior correspondiente a 5 ppm Cd, valor que es superior al ECA; sin embargo, la muestra superficial más cercana al depósito de relaves "I" reporte 6.54 ppm sugiriendo que su presencia estaría

dada para la cercanía a los relaves siendo limitada su migración mostrando baja movilidad.

El resultado de Ba Total reporta valores entre 265 y 422 ppm, los mismos que están debajo del valor de ECA (750 ppm) para este elemento.

Para el caso de Cr Total, los resultados de las muestras de suelos recolectadas varían entre 92 y 174 ppm que corresponden a valores por debajo de los valores de ECA suelo residencial/parques no existiendo valor ECA para suelos agrícolas.

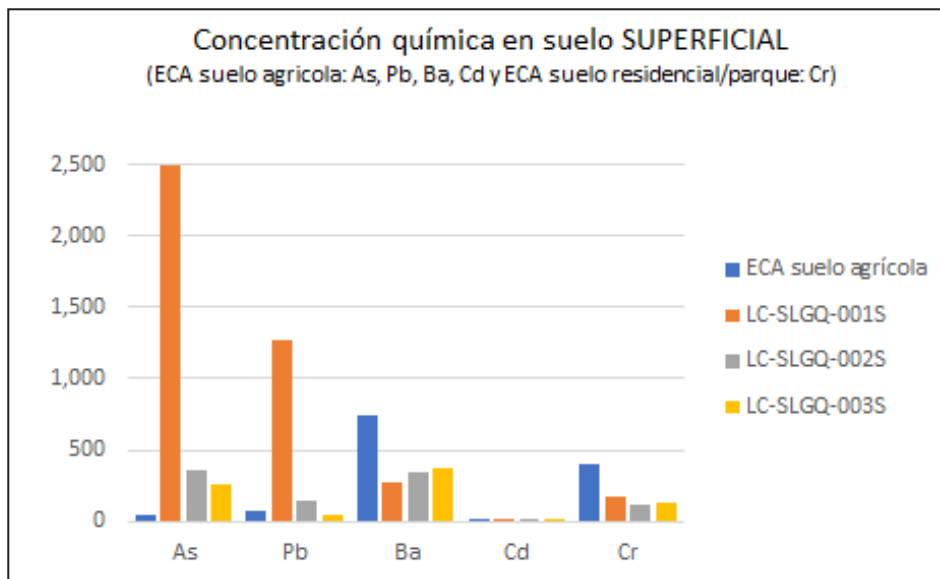


Figura 7.8 Gráfico de concentraciones químicas en suelo superficial

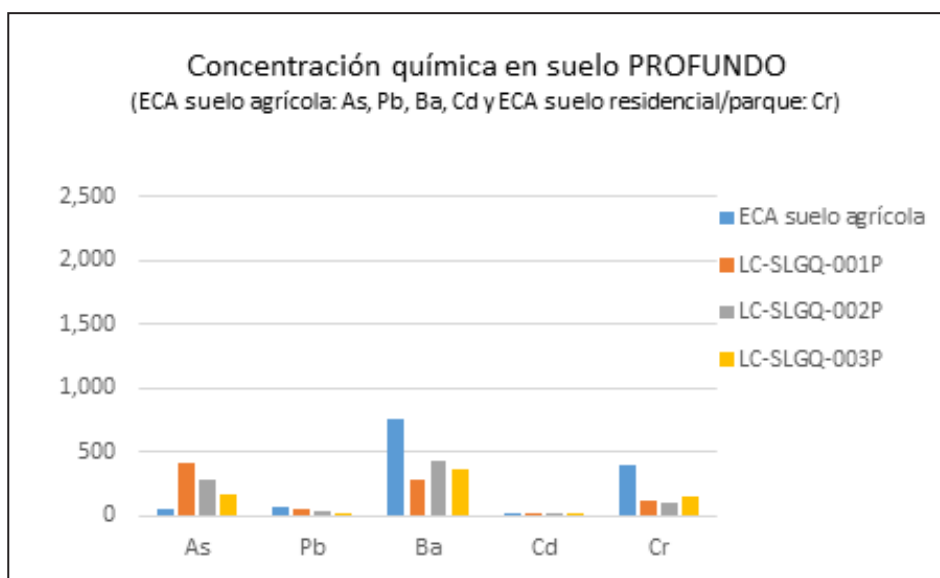


Figura 7.9 Gráfico de concentraciones químicas en suelo profundo

CAPÍTULO VIII

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE RELAVES POR ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA

Para la caracterización mineralógica de los relaves La Ciénaga, por espectrometría de reflectancia, el equipo empleado fue un espectrómetro ASD FieldSpec 4 Hi-Res cuyo rango espectral va desde los 350 nm hasta los 2500 nm, identificándose los minerales que componen el material superficial de los depósitos de relaves, así como su distribución espacial; estos materiales están expuestos al medio ambiente dispersándose por acción del viento y agua, e interactúan constantemente con los pobladores del lugar.

8.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se tomaron 243 mediciones distribuidas en 140 estaciones (fotografía 8.1), interpretando posteriormente las firmas espectrales definiendo hasta cuatro 04 minerales por firma. Estas tareas fueron desarrolladas por los profesionales del laboratorio de teledetección del Ingemmet, cuyo informe técnico se presenta como anexo 10.

Las lecturas fueron tomadas, fundamentalmente, a lo largo del depósito de relaves I y complementariamente en los depósitos II, III, IV y V, con una estación colindante a los puntos de perforación de estos últimos cuatro depósitos.

Las estaciones de lecturas para el depósito I se distribuyeron a lo largo del talud noroeste y este, espaciadas cada 2 m siguiendo tres niveles de similar cota: uno en la base, otro en la parte intermedia y otra cercana al nivel superficial de las mismas. Asimismo, se tomaron lecturas en la plataforma superficial siguiendo líneas de orientación general oeste-este (figura 8.1).

Cabe mencionar que un diseño de lecturas sistemáticas en malla, previsto inicialmente, fue modificado en cuanto en el terreno se constató que el material superficial era constantemente removido al desarrollarse actividades antrópicas en estos, lo cual genera una fuerte contaminación del material.

8.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

La interpretación de firmas espectrales, procedentes de lecturas tomadas sobre la superficie de los relaves La Ciénaga, reporta minerales de los grupos de arcillas, óxidos, hidróxidos y sulfatos consistentes en: 1 Arcillas: esmectitas e illitas, 2 Óxidos: hematita, 3 Hidróxidos: goethita y limonita y 4 Sulfatos: yeso/anhidrita y jarosita (figuras 8.2 y 8.3).



Fotografía 8.1 Toma de firmas espectrales en el flanco este del depósito de relaves La Ciénaga "I"

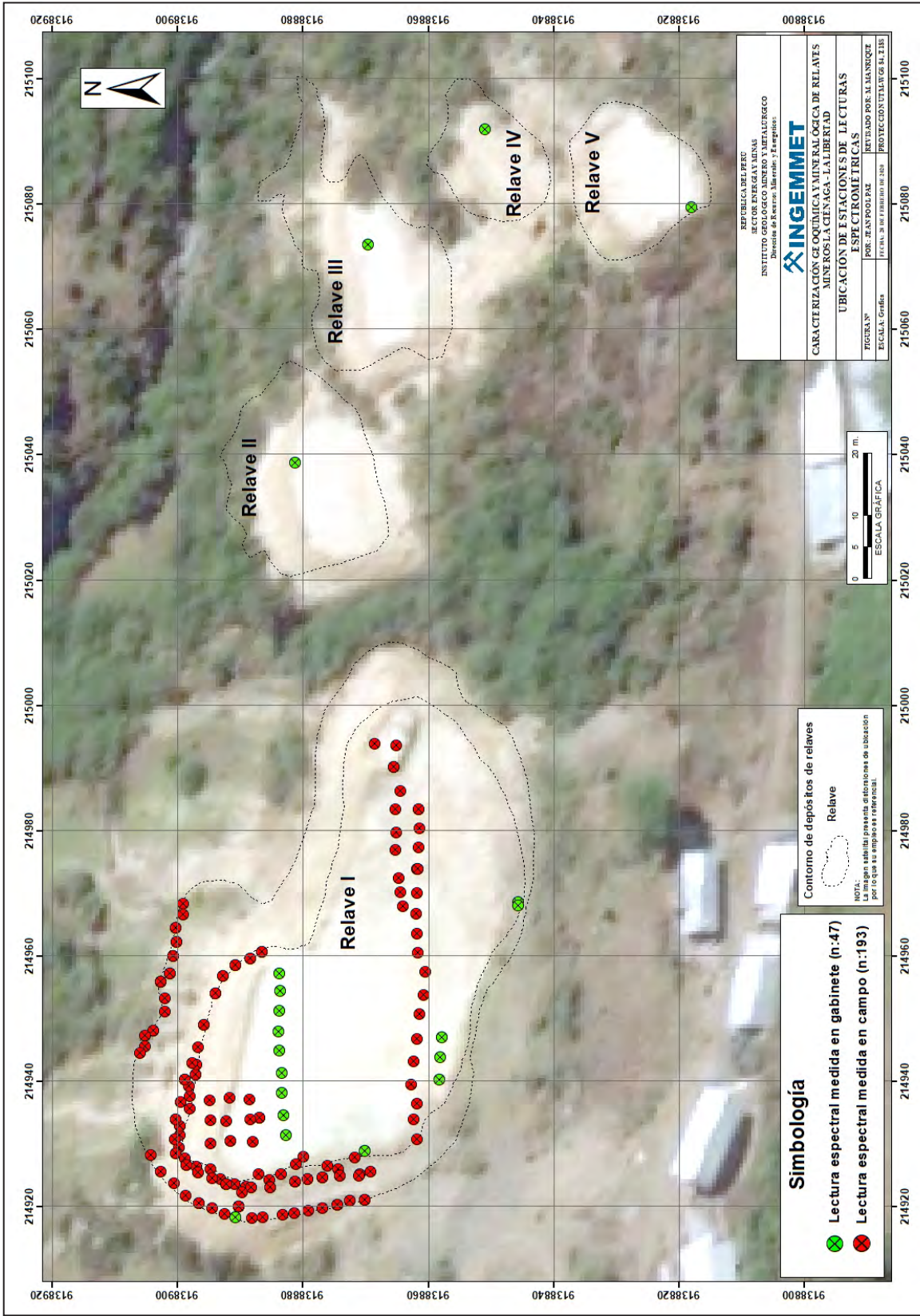


Figura 8.1 Ubicación de estaciones para lecturas espectrales

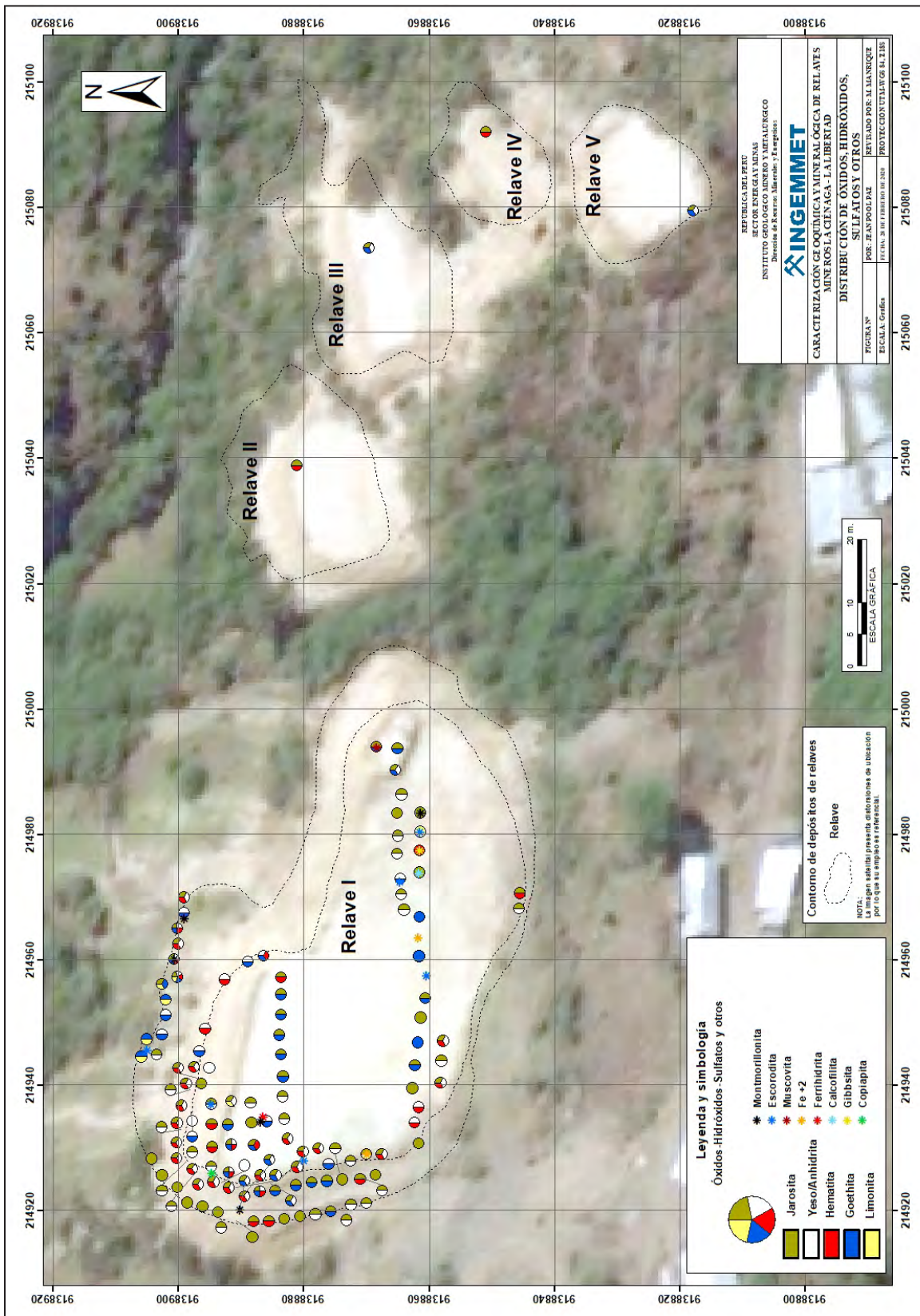


Figura 8.2 Distribución de óxidos y sulfatos – Espectrometría de reflectancia

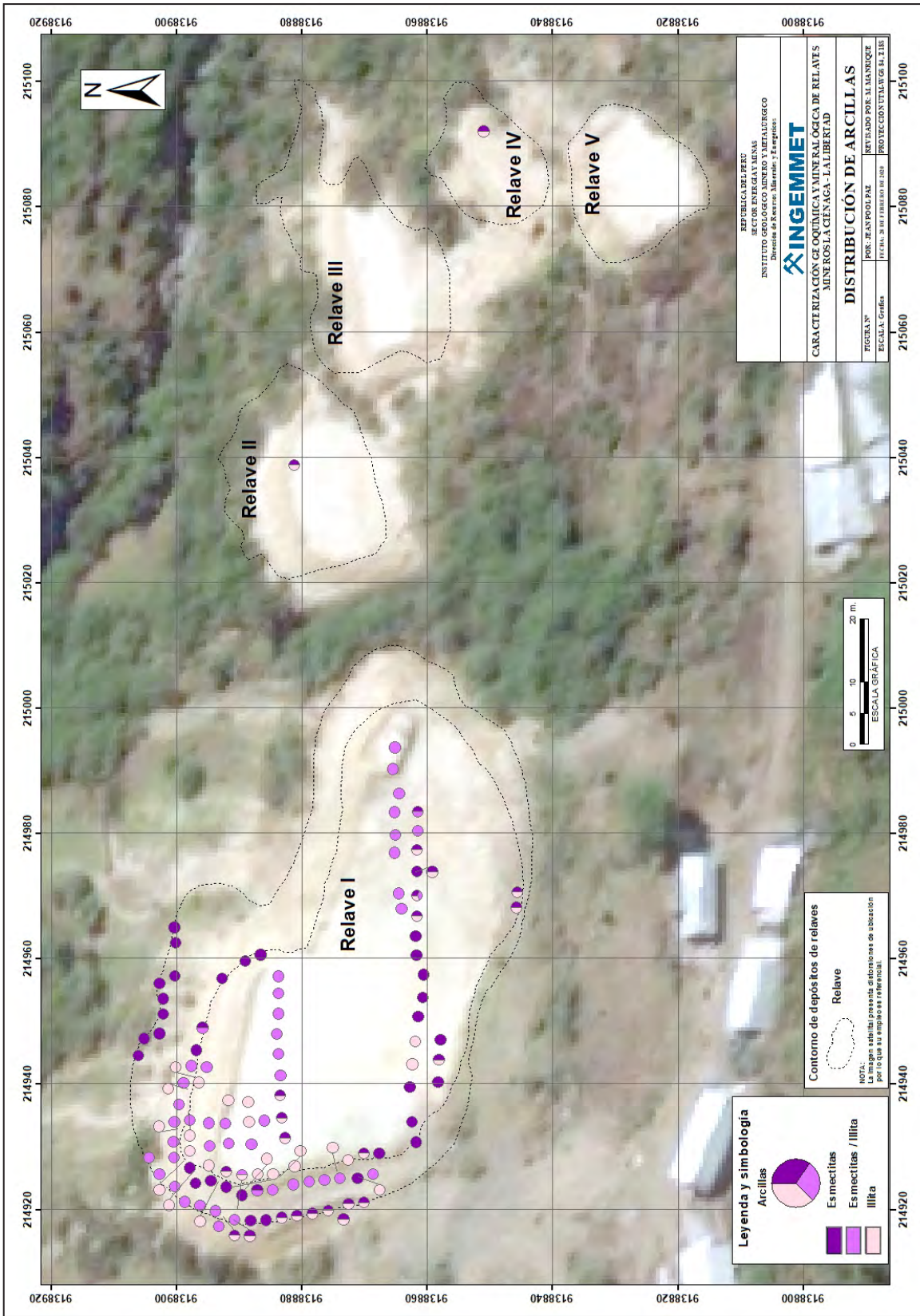


Figura 8.3 Distribución de arcillas – Espectrometría de reflectancia

En las figuras 8.2 y 8.3 no se nota tendencias marcadas de distribución espacial de las diferentes especies minerales, lo cual puede ser propio de depósitos de relave o de botaderos.

La distribución obedece más bien al intemperismo, lo cual afecta de manera diferente a las zonas superficiales, intermedias y profundas.

De estos minerales, la jarosita, las arcillas esmectita, illita, y el yeso son los que se presentan de forma pervasiva en la superficie de los depósitos de relaves.

La jarosita $KFe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$, cuya formación puede darse a partir de la oxidación de sulfuros, principalmente tipo pirita, está reflejando condiciones ácidas y oxidantes. Barral (1989) hace referencia a las relaciones de estabilidad y enfatiza que la jarosita se forma únicamente en medios ácidos pH de 2 a 4 y oxidantes $Eh > 400mV$ (figura 8.4).

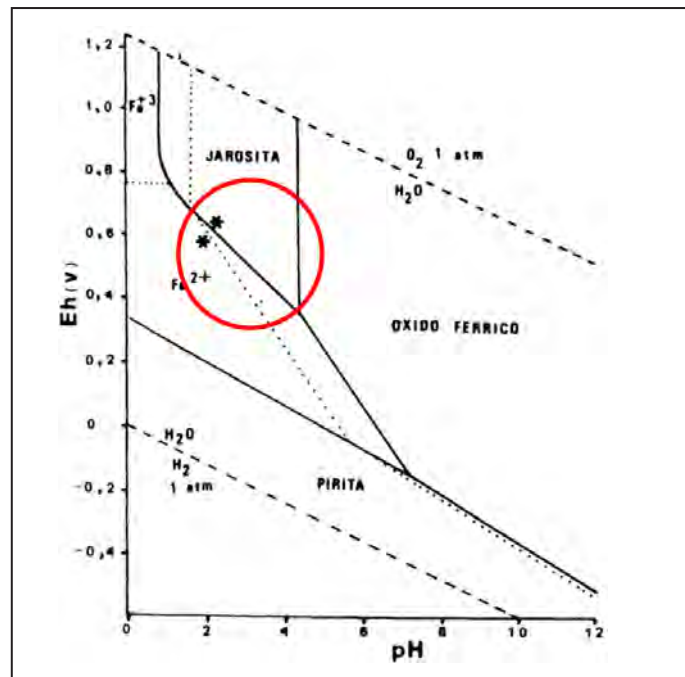


Figura 8.4 Diagrama Eh-pH remarcándose en rojo el campo de estabilidad del óxido férrico y la jarosita. Tomado y modificado de Barral (1989)

Las arcillas identificadas comprenden a esmectitas e illitas, con algunos puntos donde la firma espectral no ha podido diferenciarlas, identificándolas como “esmectita/illita”. Estas arcillas serían producto de la alteración de silicatos tales como los feldspatos que componen en gran parte los relaves La Ciénaga. La distribución de arcillas para el depósito LC-I muestra una ligera tendencia a presentarse esmectita en la base del depósito, así como en el extremo sur del mismo depósito.

La presencia de yeso está remarcando las condiciones ambientales cálidas y secas del entorno a partir de soluciones enriquecidas en sulfatos; la presencia de jarosita habría

favorecido su formación. La formación de anhidrita evidencia también condiciones ambientales de mayor temperatura.

Asociado a estos minerales, aunque con menor distribución, se presentan óxidos e hidróxidos de hierro, siendo el más frecuente la goethita seguido de la hematita Fe_2O_3 y en menor porcentaje limonitas $FeOOH \cdot nH_2O$, minerales que solo pueden coexistir con la jarosita bajo condiciones de bajo pH y medios oxidantes.

De forma puntual han sido identificados otros minerales que también forman parte del grupo de los sulfatos y óxidos (cuadro 8.1), a excepción de la escorodita.

Cuadro 8.1

Relación de minerales presentes de forma restringida

Mineral	Fórmula Química	Observaciones
Copiapita	$\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Presente en Copiapó, Chile. Color verde, verde-amarillo, amarillo, dorado
Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$	Producto de meteorización de minerales aluminicos, en climas tropicales cálidos y húmedos. Color verde azulado
Calcofilita	$\text{Cu}_{18}\text{Al}_2(\text{AsO}_4)_4(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{24} \cdot 36\text{H}_2\text{O}$	Mineral raro presente en zonas de oxidación asociadas a arsénico. Color verde intenso
Ferrihidrita	$(\text{Fe}^{3+})_{4.5}(\text{OH},\text{O})_{12}$	Presente en ambientes muy oxidantes
Escorodita	$\text{Fe}^{3+}\text{AsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Mineral secundario frecuentemente de la oxidación de arsenopirita

8.3 RESULTADOS

Superficialmente, los depósitos de relaves de La Ciénaga están compuestos por minerales secundarios de las clases sulfatos, óxidos, hidróxidos y arcillas predominando jarosita, esmectita e illita asociadas a hematita, goethita, limonita y yeso. La presencia de jarosita y la coexistencia con óxidos e hidróxidos de hierro denota condiciones ácidas y oxidantes en el lugar y la presencia de yeso refleja temporadas de climas secos y elevada temperatura.

La abundancia relativa de los óxidos e hidróxidos de hierro es mayor para la goethita, seguida de hematita y restringidamente limonita.

La jarosita, óxidos e hidróxidos de hierro se habrían formado a partir de sulfuros tales como la pirita, y las arcillas a partir de los feldespatos, minerales constituyentes de los relaves La Ciénaga.

Un mineral de color verde no ha podido ser identificado mediante los análisis de espectrometría siendo necesario complementar los estudios con análisis de difracción de rayos X para su identificación.

CAPÍTULO IX

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE RELAVES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

9.1 GENERALIDADES

Se analizaron 69 muestras de relaves, procedentes de los cinco depósitos de La Ciénaga, mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX), para identificar y cuantificar los minerales cristalizados presentes en las muestras; estos análisis estuvieron a cargo de la Dirección de Laboratorios del Ingemmet y el reporte analítico que incluye la metodología empleada, se presenta como anexo 11.

En la figura 9.1, se puede apreciar la distribución de muestras analizadas por DRX, las mismas que son representativas en sección de todos los depósitos de relaves, desde los horizontes alterados superficiales hasta los horizontes inalterados en profundidad con alcance de acuerdo con las labores de procedencia trinchera y sondajes.

Los resultados reportan 17 minerales, de los cuales el cuarzo es el principal constituyente de los relaves, comprendiendo el 46 % en promedio de estos, los cuales varían entre contenidos de 26 % a 67 % de cuarzo.

De los 17 minerales identificados, 11 de ellos se encuentran presentes en más del 57 % de muestras (figura 9.2); estos corresponden a cuarzo, pirita, yeso, moscovita, clinocloro, calcita, albita, dolomita, ortoclasa, magnesiohornblenda y arsenopirita, en orden de abundancia.

En cuanto a la pirita y la arsenopirita, que serían los principales minerales portadores de Au de los relaves La Ciénaga, estos constituyen el 9 % pirita y 2 % arsenopirita del contenido total de los relaves.

Los 06 minerales restantes han sido identificados en <34 % del total de muestras analizadas por DRX y en orden de abundancia corresponden a plumbojarosita, jarosita, illita, magnesioferrihornblenda, anortita y cuprita.

En base a la importancia y origen, los minerales identificados por DRX pueden ser agrupados en (1) ganga de vetas y/o entorno geológico, (2) asociados con el entorno geológico (3) secundarios o de alteración (4) posibles portadores de Au y (5) inhibidores de ambientes ácidos (cuadro 9.1, figura 9.4 y mapa 13).

Cuadro 9.1

Clasificación de minerales en función a su importancia y origen – difracción de rayos X

Grupo	Minerales
Ganga de vetas y/o asociado al entorno geológico	- cuarzo
Asociados con el entorno geológico	- moscovita - magnesio-ferrihornblenda - clinocloro - magnesiohornblenda - albita - ortoclasa - anortita
Secundarios o de alteración	- yeso - jarosita - illita - cuprita - plumbojarosita
Sulfuros portadores de Au	- pirita - arsenopirita
Inhibidores de ambientes ácidos	- calcita - dolomita

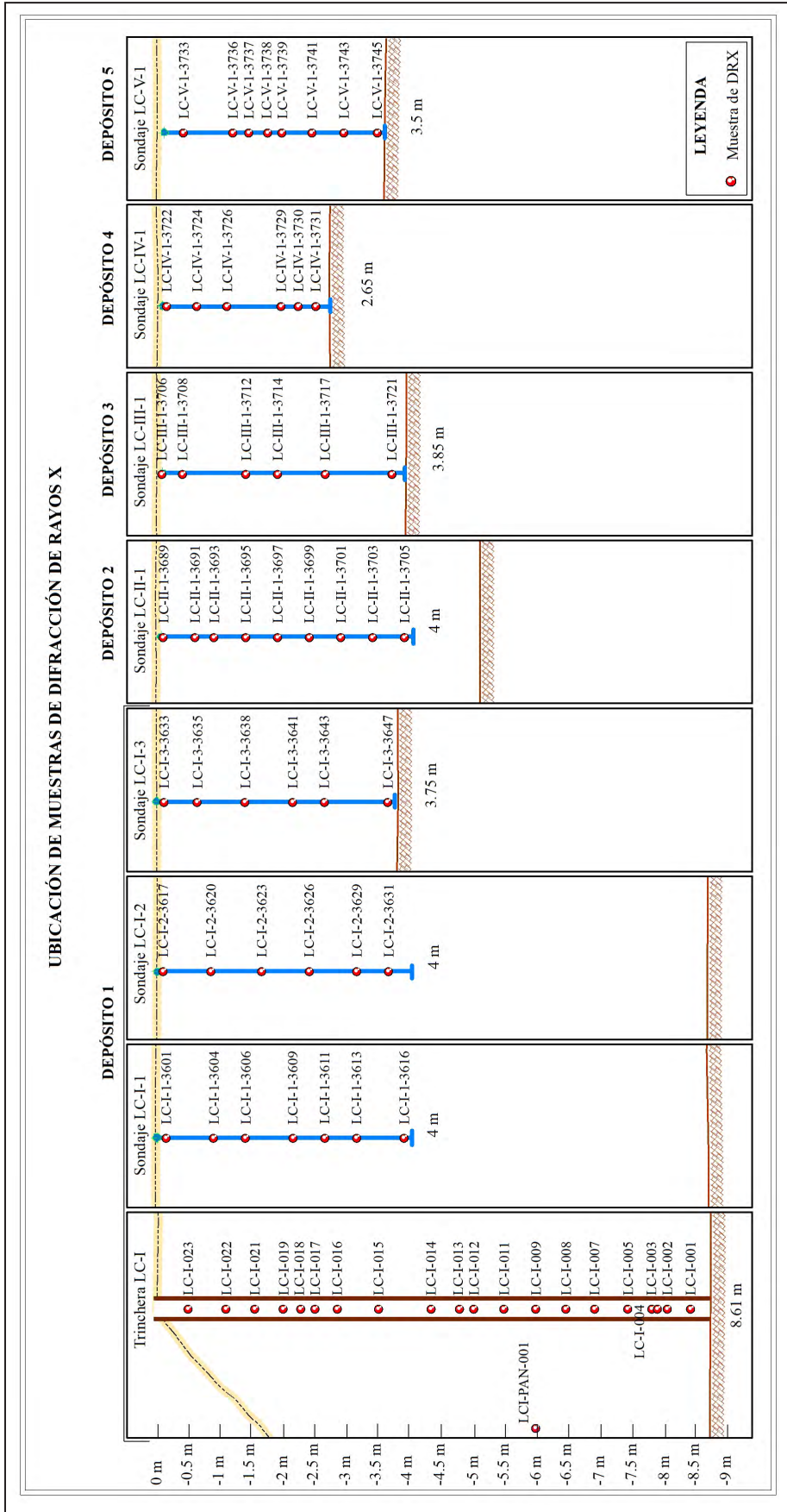


Figura 9.1 Ubicación de muestras analizadas por difracción de rayos X

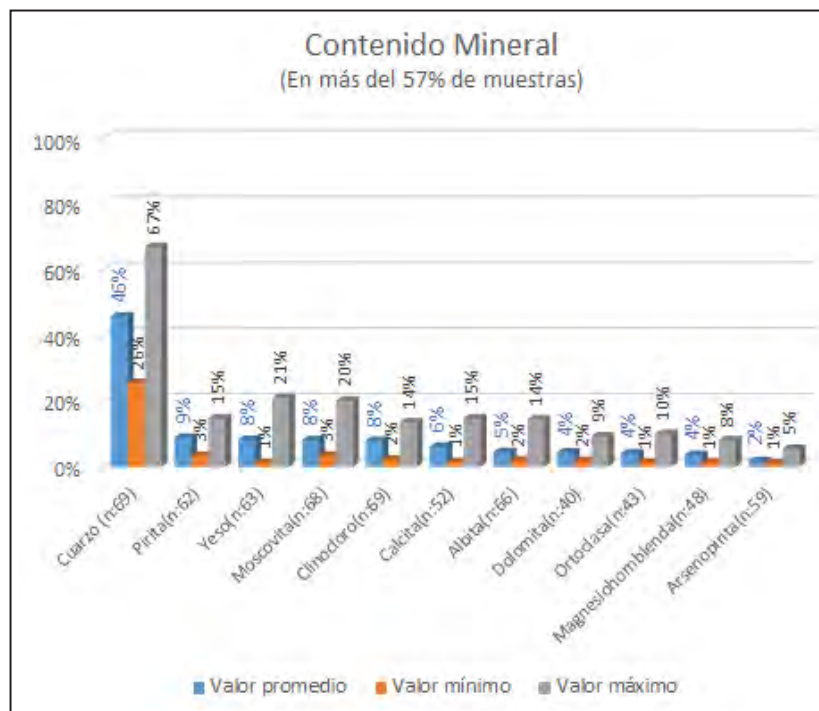


Figura 9.2 Minerales presentes en más del 57 % de las muestras estudiadas con difracción de rayos X

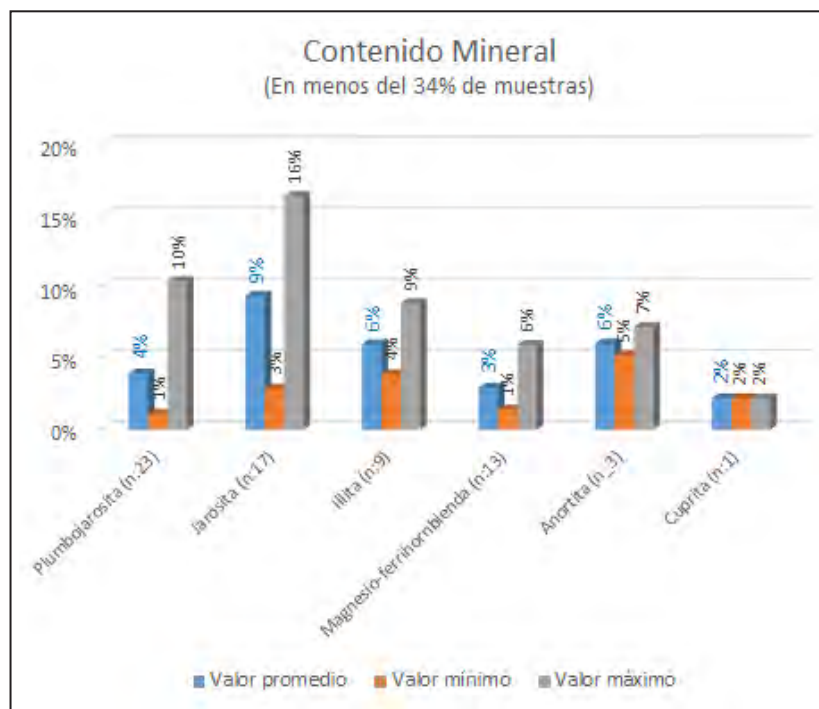


Figura 9.3 Minerales presentes en no más del 34 % de las muestras estudiadas con difracción de rayos X



Figura 9.4 Distribución de minerales en función a su importancia y origen – difracción de rayos X

9.2 MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACIÓN

Cuatro de los cinco minerales que conforman el grupo de minerales secundarios o de alteración se ubican espacialmente en las zonas superficiales de los depósitos, donde se encuentra el relave alterado con un característico color amarillo blanquecino y corresponden a la jarosita, plumbojarosita, yeso y cuprita; estos se habrían formado a partir de la pirita, arsenopirita (figura 9.5 y mapa 14), cuyas concentraciones en estos niveles son ausentes o se encuentran en concentraciones bajas. El quinto mineral corresponde a la illita, la cual se ubica fundamentalmente en aquellos tramos donde los relaves se encuentran particularmente hidratados, formando aglomeraciones redondeadas y que se encuentran en profundidad. La illita sería producto de la alteración de la moscovita y/o feldespatos que característicamente dan este producto en ambientes de alteración hídrica y térmica.

9.3 MINERALES DE GANGA DE VETAS Y/O ASOCIADOS AL ENTORNO GEOLÓGICO

El grupo al que estamos denominando como ganga de vetas y/o asociado al entorno geológico está conformado por cuarzo, en coherencia con la mineralización aurífera del área de Patá que está constituida por vetas de cuarzo emplazadas en rocas ígneas que cortan rocas metamórficas paleozoicas del Complejo metamórfico. El origen del cuarzo serían las vetas y/o el cuarzo primario de las rocas ígneas. Se encuentra tanto en los relaves alterados como en los inalterados (figura 9.4).

9.4 MINERALES ASOCIADOS AL ENTORNO GEOLÓGICO

El grupo de minerales, asociados con el entorno geológico, comprende el mayor número de minerales (figura 9.4), y procederían de las rocas caja de las vetas auríferas. Estos minerales son característicos de ambientes metamórficos e ígneos y su presencia es coherente con el entorno geológico de los alrededores a La Ciénaga. De estos, la magnesio-ferrihornblenda y la anortita han sido identificados puntualmente en trece y tres muestras respectivamente y la magnesio-ferrihornblenda está presente de forma casi exclusiva en los

niveles profundos del depósito I, registrados en la trinchera LC-I para profundidades mayores a 4.7 m, siendo estos niveles geoquímicamente contrastantes con niveles más someros y con los otros depósitos al contener las mayores concentraciones en elementos asociados a la mineralización de La Ciénaga; la presencia de la magnesio-ferrihornblenda sustentaría que el origen del material que comprenden estos niveles inferiores serían diferentes al del resto de los relaves.

9.5 MINERALES DE SULFUROS PORTADORES DE Au

El grupo de sulfuros portadores de Au está constituido por la pirita y arsenopirita, siendo el contenido porcentual promedio de la pirita en los relaves La Ciénaga de 9 % (valor máximo de 15 % y mínimo de 3 %) y de 2 % para la arsenopirita (valor máximo de 5 % y mínimo de 1 %). En general, las mayores concentraciones de arsenopirita superan el 3 % y se ubican en el nivel inferior a una profundidad mayor a 4.7 m (extremo oeste del depósito de relaves "I" Trinchera LC-I, en donde también se tienen los valores más altos en Au). En general, en las muestras donde el Au tiene contenidos mayores a 1.6 ppm se presenta pirita en más de 10 % y/o arsenopirita en más de 1.5 %; sin embargo, la presencia de concentraciones altas en estos minerales no siempre corresponde a concentraciones altas en Au pudiendo haber sido liberado y concentrado o que estos minerales no siempre contengan altos valores en Au (figura 9.6).

9.6 MINERALES INHIBIDORES DE AMBIENTES ÁCIDOS

El grupo de minerales inhibidores de ambientes ácidos está representado por la calcita y la dolomita (figura 9.7 y Mapa 14), cuyos orígenes estarían dados por las rocas encajonantes de las vetas y además la calcita como mineral constituyente de las gangas. Estos minerales se encuentran en todos los depósitos de relaves inalterados de La Ciénaga, y gracias a estos la profundización de la alteración de los relaves no ha sido mayor actuando como inhibidores de ambientes ácidos incluyendo las aguas ácidas y su presencia está correlacionada a potenciales de hidrógeno básicos (> 7.0 pH).

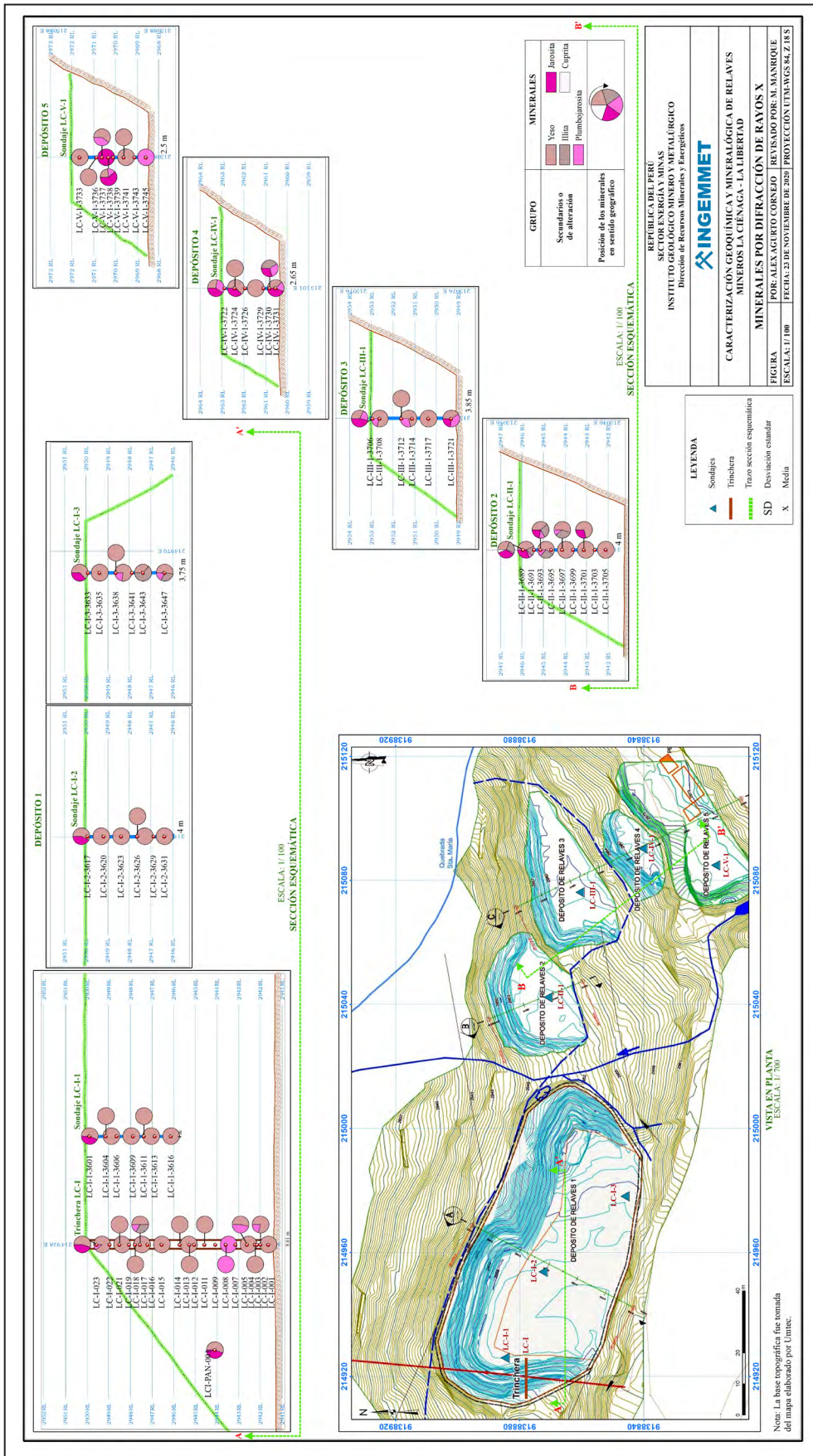


Figura 9.5 Distribución de minerales secundarios – difracción de rayos X

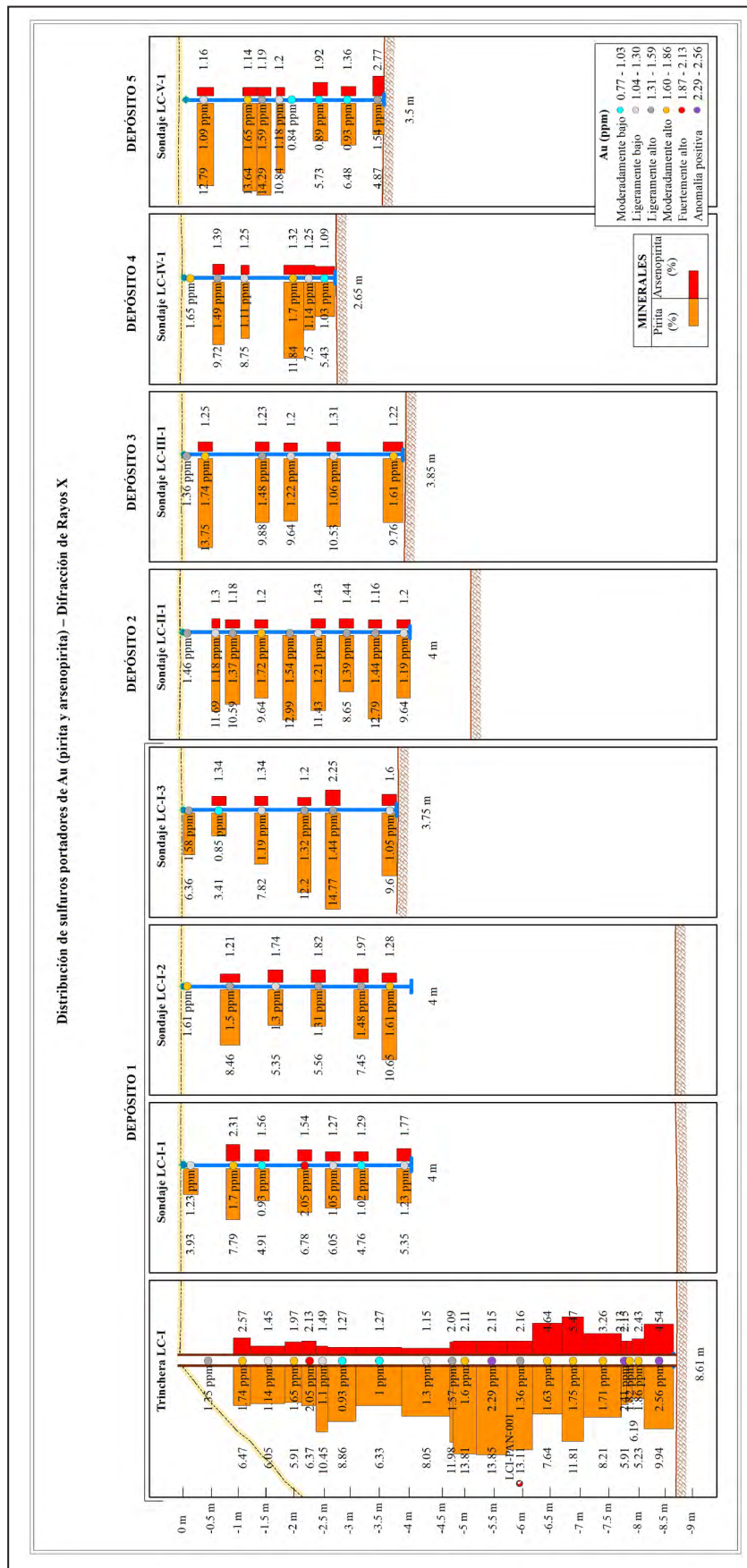


Figura 9.6 Distribución de sulfuros portadores de Au (pirita y arsenopirita) – difracción de rayos X

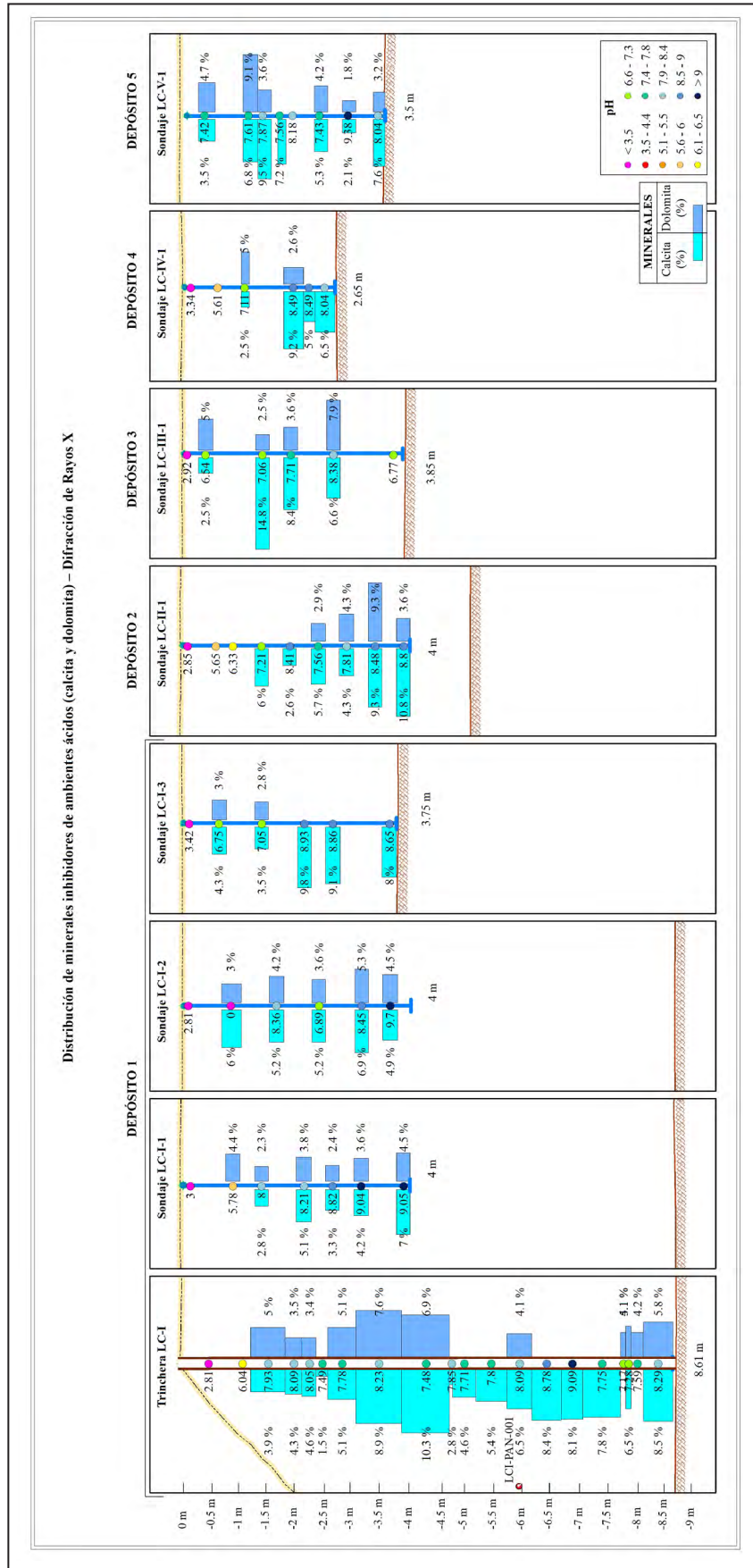


Figura 9.7 Distribución de minerales inhibidores de ambientes ácidos (calcita y dolomita) – difracción de rayos X

9.7 CONTENIDO MINERALÓGICO DE RELAVES "INALTERADOS"

Correspondiendo el mayor volumen de relaves, a aquellos que estamos considerando como "inalterados" y que se encuentran debajo de la costra superficial alterada de amarillo blanquecino, analizamos los resultados mineralógicos obtenidos, retirando aquellos minerales del grupo de "Secundarios o de alteración", así como la magnesio-ferrihornblenda y anortita porque la presencia de la primera está dada únicamente para los niveles inferiores de la trinchera LC-I < 4.7 m y la segunda porque

únicamente ha sido identificada en tres muestras y su presencia podría no ser característica para todos los relaves.

El resultado de este análisis muestra que, en promedio, los relaves La Ciénaga están compuestos por un 48 % de cuarzo, un 30 % por minerales asociados al entorno geológico correspondiendo estos en orden de abundancia a la moscovita, el clinocloro, albita, ortoclasa y magnesiohornblenda; un 11 % por minerales inhibidores de ambientes ácidos (calcita y dolomita), y finalmente un 11 % a los sulfuros portadores de Au (cuadro 9.2, figuras 9.8, 9.9 y mapa 15).

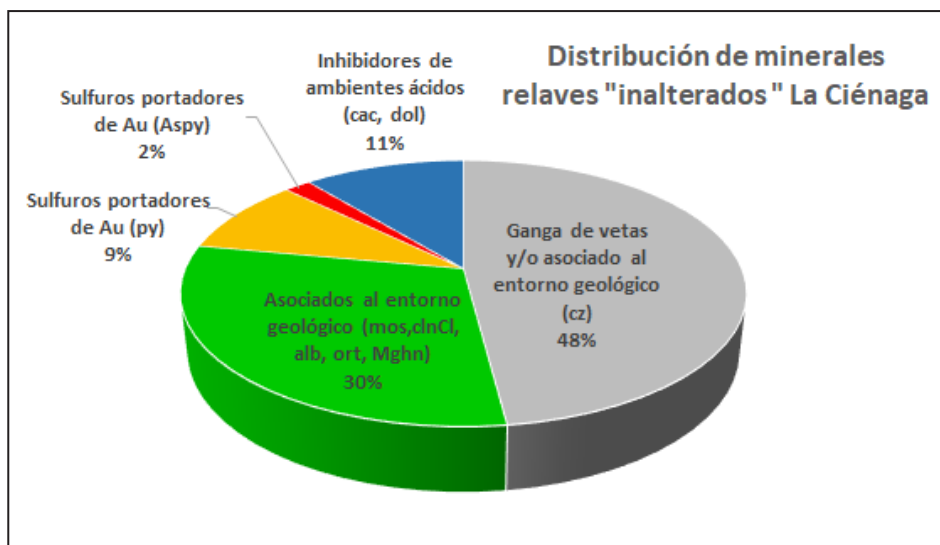


Figura 9.8 Grupo de minerales principales en los relaves La Ciénaga – difracción de rayos X

Cuadro 9.2

Síntesis de contenidos minerales en relaves inalterados – difracción de rayos X

Grupo de minerales	Ganga de vetas y/o al entorno geológico	Asociados con el entorno geológico					Sulfuros portadores de Au		Inhibidores de ambientes ácidos	
		Moscovita (mos)	Clinocloro (clnCl)	Albita (alb)	Ortoclasa (ort)	Magnesio-hornblenda (Mghn)	Pirita (py)	Arsenopirita (aspy)	Calcita (cac)	Dolomita (dol)
Mineral	Cuarzo (cz)									
Contenido	48 %	30 %					11 %		11 %	
Mínimo	25.6 %	3.5 %	2.2 %	1.9 %	1.3 %	1.3 %	3.4 %	1.1 %	1.5 %	1.8 %
Máximo	66.9 %	20.2 %	13.6 %	14.4 %	10.0 %	8.1 %	14.8 %	5.5 %	14.8 %	9.3 %
Promedio	48.0 %	8.5 %	8.4 %	4.7 %	4.3 %	3.9 %	9.3 %	1.8 %	6.4 %	4.6 %
N° muestras	69	68	69	56	43	48	62	59	52	40

Por lo tanto, los principales minerales que estarían albergando el Au en los relaves La Ciénaga, representan el 11 % del volumen

total de los relaves, correspondiendo el 9 % a la pirita y el 2 % a la arsenopirita.

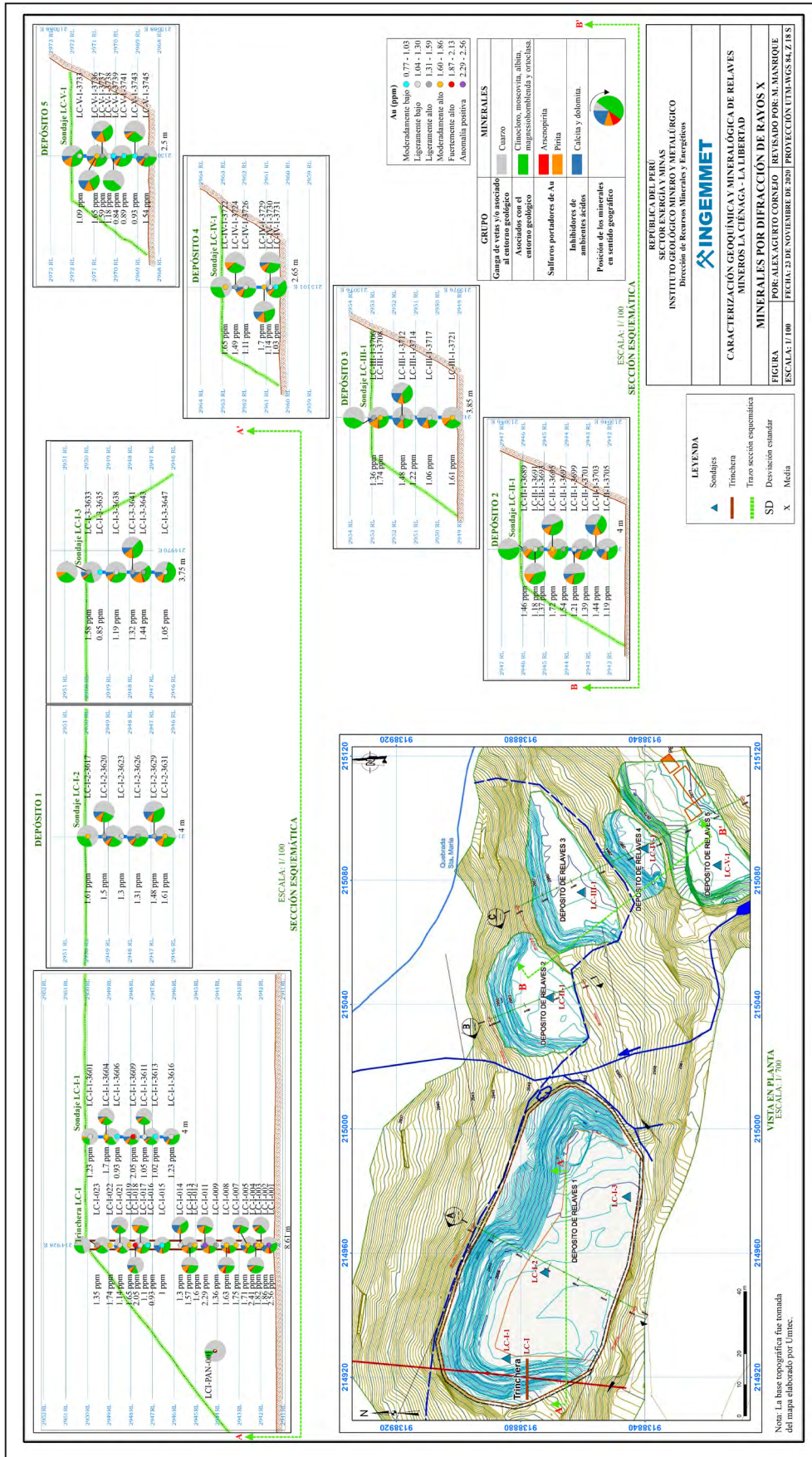


Figura 9.9 Distribución de minerales en relaves "maltratados" – difracción de rayos X

CONCLUSIONES

- La importancia económica de los relaves mineros antiguos radica en que estos podrían contener elementos de importancia económica que en su momento no habrían sido extraídos por factores tales como tecnología deficiente para su identificación y beneficio, así como los bajos precios del mercado en su momento.
- La metodología empleada en el estudio de los relaves mineros La Ciénaga ha demostrado ser eficiente proporcionando importante información geoquímica y mineralógica, la que puede ser empleada para su puesta en valor; asimismo, identifica elementos perjudiciales para la salud y medio ambiente que requieren un adecuado manejo. Esta metodología de estudio puede tomarse como referencia para otros estudios similares.
- Los relaves mineros La Ciénaga están formados por materiales finos con granulometría menor a 120 μm para el 90 % de los relaves, prevaleciendo la fracción menor a 10 μm (-400 Mesh), que comprenden del 37 % al 67 % del material.
- Los relaves mineros La Ciénaga contienen Au cuya concentración promedio para los cinco depósitos asciende a 1.31 ± 0.27 ppm Au; asimismo, contiene concentraciones altas en As y Pb que exceden de 37 a 110 veces y de 2 a 110 veces respectivamente, los estándares de calidad ambiental para suelos de uso industrial.
- Los relaves mineros La Ciénaga también contienen Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, S, Sb y Zn, como elementos asociados a la mineralización de la zona.
- La fracción fina menor a 10 μm (-400 Mesh) reporta mayores concentraciones en Au y elementos asociados a la mineralización, respecto a la fracción gruesa menor a 106 y mayor a 38 μm (-140 a +400 Mesh), siendo 1.5 veces más alta en la fracción fina para el Au.
- La naturaleza fisicoquímica de los relaves alterados de superficie es potencialmente oxidante ácida constituyendo fuentes de liberación de iones y, por lo tanto, de contaminación ambiental; y el de los relaves inalterados en profundidad potencialmente oxidante básica.
- Los relaves mineros influyen en la calidad de los suelos aledaños, identificando contenidos en As, Pb, Cd, Ba total y Cr total sobre los Estándares de Calidad Ambiental para suelos, la acidificación de los suelos superficiales y la presencia de Au.
- El agua de la quebrada Santa María contiene NO_3^- , NO_2^- , As, Al, Cr, Fe, Mn, Ni, V y Cu sobre los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, no pudiendo precisarse la influencia de los relaves La Ciénaga o de las actividades industriales de la planta de beneficio Santa María; sin embargo, se constató en el campo numerosa actividad minera artesanal e informal cuyas aguas son vertidas a la quebrada Santa María, pudiendo constituir una de las principales fuentes de contaminación.
- Los relaves mineros La Ciénaga comprenden alrededor de 90 % de material "inalterado" de característico color gris oscuro cuyos componentes mineralógicos principales comprenden de cuarzo (48 %), pirita (9.3 %), yeso (8 %), moscovita (8.5 %), clinocloro (8.4 %), calcita (6.4 %), albita (4.7 %), dolomita (4.4 %), ortoclasa (4.3 %), magnesiohornblenda (3.9 %) y arsenopirita (1.8 %) en orden de abundancia. La pirita y la arsenopirita son consideradas como las principales fuentes de Au.
- Alrededor del 10 % de los relaves mineros La Ciénaga está comprendido por material superficial "alterado" caracterizado por su color amarillo blanquecino por presentarse muy cohesionado y por cubrir a manera de una costra a los relaves "inalterados"; alcanza 1 m en promedio de profundidad. Está compuesto por minerales secundarios consistentes en sulfatos, óxidos, hidróxidos y arcillas, predominando jarosita, esmectita e illita asociadas a hematita, goethita, limonita, así como yeso.
- La corroboración de contenidos de Au remanente, en los cinco depósitos de relaves, los pone en valor pasando de ser considerados como desechos mineros perjudiciales a la salud y medio ambiente a depósitos con potencial valor económico. Es necesario, en adelante, consolidar estudios de factibilidad económica teniendo en cuenta la generación de métodos metalúrgicos que permitan extraer el Au de los relaves, así como neutralizar o aislar los contenidos de As y Pb. Lograr su reaprovechamiento disminuiría su volumen y generaría recursos económicos, parte de los cuales pueden ser destinados a la remediación de los sobrantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barral, M.T. (1989) - Precipitados de hierro en medios sulfato-ácidos que resultan de la alteración de anfibolitas ricas en sulfuros. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 14: 29-42. <http://hdl.handle.net/2183/6037>
- Biener, E.; Sasse, T. & Konertz, K. (2018) – *Informe sobre caso de estudio para la remediación de los relaves en La Ciénaga, Pataz en Perú (versión preliminar)*. Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales BGR; Cooperación Alemana, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GLZ, 37 p.
- Cánepa, C. (2016) – *Estudios mineralógico-microscópicos aplicados a la exploración y tratamiento de minerales: Microscopía óptica y microscopía óptica electrónica de barrido*, documento interno. Informe n° 07-0156 (GM-MEG) para Lothar Winkelmm / BGR, 25 p.
- Coba, R. (2017) - *Modelo geométrico y características estructurales del sistema de vetas de alto ángulo al norte del Batolito de Pataz Mina Poderosa, La Libertad – Perú*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Cajamarca, 112 p. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1663>
- Gómez, W.; Mamani, M.; Choquehuanca, S. & Cacya, L. (2013) - Geoquímica y sistemas co-magmáticos del Carbonífero: arco magmático Pataz (350-300 Ma). *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (107): 6-10.
- Haeberlin, Y.; Moritz, R. & Fontboté, L. (2000) - Fluid inclusion study on mesothermal gold deposits of the Pataz Province (Peru). En: Congreso Peruano de Geología, 10, Lima, 2000. *Trabajos Técnicos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 458-466.
- Morche, W. (2017) - *Estudio de caso de pasivos ambientales mineros en la región La Libertad / Perú: Las Relaveras de La Ciénaga / Pataz. Investigación económico-minera y Ambiental*. Trujillo; Santiago: Cooperación Alemana para el Desarrollo; Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, 90 p. <https://bit.ly/3GD5Zn6>
- Ramos, D. (2017) - *Incremento de la producción de mineral aplicando voladura masiva en la veta Samy nivel 2590 de la unidad de producción Santa María, Mina Poderosa*. Tesis Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, 88 p. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9572>
- Reyes, L. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Hojas: 15f, 15g, y 16g. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 31, 75 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/150>
- Rivera, H. (2001) - *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. Lima: B & R Publigraf, 279 p.
- Rodriguez, C. (2018) - *Gestión del Estado Peruano y análisis específico de responsabilidad histórica y legal. Estudio de caso de pasivos ambientales mineros en la región La Libertad / Perú: Las Relaveras de La Ciénaga / Pataz*. Trujillo; Santiago: Cooperación Alemana para el Desarrollo; Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, 176 p. <https://bit.ly/3dLPzwv>
- Sánchez, A. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolívar. Hojas: 12-g, 12-h, 13-g, 13-h, 13-i, 14-h y 15-h. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 56, 287 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/177>
- Schreiber, D.W.; Fontboté, L. & Lochmann, D. (1990) - Geologic setting, paragenesis, and physicochemistry of gold quartz veins hosted by plutonic rocks in the Pataz region. *Economic Geology*, 85 (7): 1328-1347. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.7.1328>
- Villanes, C. (2006) - *Yacimiento aurífero Poderosa, distrito de Pataz, Cordillera Oriental del Perú: contexto geológico, marco estructural, alteraciones hidrotermales, mineralogía y estilos de mineralización*, informe inédito. Lima: Compañía Minera Poderosa.

- Villota, H. (2005) - *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. 2a. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.
- Voute, F.; Hagemann, S.G.; Evans, N.J. & Villanes, C. (2019) - Sulfur isotopes, trace element, and textural analyses of pyrite, arsenopyrite and base metal sulfides associated with gold mineralization in the Pataz-Parcoy district, Peru: Implication for paragenesis, fluid source, and gold deposition mechanisms. *Mineralium Deposita*, 54(7): 1077-1100. <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0857-6>
- Walsh Perú. (2017) - *El Entorno Social: Estudio de caso de pasivos ambientales mineros en la región La Libertad / Perú. Las Relaveras de La Ciénaga / Pataz*. Trujillo; Santiago: Cooperación Alemana para el Desarrollo; Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, 92 p. <https://bit.ly/3oQZalz>
- Wilson, J.J. & Reyes, L. (1964) - Geología del cuadrángulo de Pataz (Hoja 16-h). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 9*, 91 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/169>
- Wilson, J.J.; Reyes, L. & Garayar, J. (1995) - Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-h, y 19-i. *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 60, 79 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/182>
- Witt, W.K.; Hagemann, S.G.; Villanes, C.; Vennemann, T.; Zwingmann, H.; Laukamp, C. & Spangenberg, J.E. (2016) - Multiple gold mineralizing styles in the Northern Pataz District, Peru. *Economic Geology*, 111(2): 355-394. <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.2.355>

ANEXOS

- Anexo I. Reporte de Análisis granulométrico – Laboratorios de Ingemmet.
- Anexo II. **Lectura de parámetros fisicoquímicos.**
- Anexo III. Resultados químicos de RELAVES – AGQ LABS PERÚ.
 - III.I Resultados analíticos de Au + 31 elementos - AGQ Labs. Perú.
 - III.II Resultados analíticos de Tierras Raras, Hg y Cianuro - AGQ Labs. Perú.
- Anexo IV. Resultados químicos de RELAVES – Laboratorios Ingemmet.
 - IV.I Resultados analíticos de Au – Laboratorios de Ingemmet.
 - IV.II Resultados analíticos de 32 Elementos, Hg y tierras raras – Laboratorios de INGEMMET.
- Anexo V. Control de calidad – Resultados químicos – AGQ LABS PERÚ.
- Anexo VI. Control de calidad – Resultados químicos – Laboratorios Ingemmet
- Anexo VII. Distribución geoquímica por elemento químico para los relaves mineros La Ciénaga.
- Anexo VIII. Resultados químicos de AGUAS – Laboratorios de Ingemmet.
- Anexo IX. Resultados químicos de SUELOS – Laboratorios de AGQ LABS PERÚ.
- Anexo X. **Resultados de espectroscopía de reflectancia.**
- Anexo XI. Resultados analíticos de difracción de rayos x – Laboratorios de Ingemmet.

Los anexos están disponibles en formato digital desde el Repositorio Institucional del INGEMMET en la siguiente dirección:
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/3702>

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

Mapa 1	Parámetros fisicoquímicos (ORP - pH).
Mapa 2	Ubicación de muestras de relaves para evaluación geoquímica (124 muestras) (Secciones_Ciénaga_A2).
Mapa 3	Distribución geoquímica de plata (Ag - ppm).
Mapa 4	Distribución geoquímica de oro (Au - ppm).
Mapa 5	Distribución geoquímica de arsénico (As - ppm).
Mapa 6	Distribución geoquímica de cadmio (Cd - ppm).
Mapa 7	Distribución geoquímica de cobre (Cu - ppm).
Mapa 8	Distribución geoquímica de hierro (Fe - %).
Mapa 9	Distribución geoquímica de plomo (Pb - ppm).
Mapa 10	Distribución geoquímica de azufre (S - %).
Mapa 11	Distribución geoquímica de antimonio (Sb - ppm).
Mapa 12	Distribución geoquímica de zinc (Zn - ppm).
Mapa 13	Distribución de minerales en los relaves La Ciénaga – Difracción de Rayos X.
Mapa 14	Distribución de minerales secundarios y de minerales inhibidores de ambientes ácidos – Difracción de Rayos X.
Mapa 15	Distribución de minerales en relaves “inalterados” – Difracción de Rayos X.

Figuras

Figura 1.1	Ubicación de los relaves mineros La Ciénaga.
Figura 1.2	Ubicación de los depósitos de relaves La Ciénaga.
Figura 1.3	Mapa fisiográfico de los alrededores a los relaves mineros La Ciénaga.
Figura 1.4	Mapa hidrográfico de los alrededores a los relaves mineros La Ciénaga.
Figura 1.5	Mapa de distribución de trabajos y recolección de muestras.
Figura 2.1	Marco Geológico Regional (Tomado de Vouté, et al., 2019).
Figura 2.2	Mapa Geológico preparado en base a la geología del Cuadrángulo de Patáz (16h) a escala 1:100 000 – Revisión integrada INGEMMET 2017).
Figura 2.3	Secuencia paragenética de minerales de mena y ganga en base al estudio de 41 muestras procedentes de las áreas de Santa María y Paraíso (Tomado de Voute et al., 2019).
Figura 3.1	Gráfico de Apertura vs. % Retenido.
Figura 3.2	Resultados geoquímicos por sub-fracciones de Au y elementos asociados a la mineralización.
Figura 4.1	Medidas de potencial de Hidrógeno (pH) – Relaves La Ciénaga.

- Figura 4.2 Medida de potencial de óxido reducción (ORP) – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.3 Medidas de presión – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.4 Medidas de conductividad eléctrica (CE) – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.5 Medidas del total de sólidos disueltos (TDS) – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.6 Medidas de salinidad - Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.7 Medidas de temperatura – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.8 Resultados de ORP y pH para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 4.9 ORP vs. pH – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.10 Correlación de Pearson para CE – TDS -Salinidad – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.11 TDS vs. CE – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.12 TDS vs. pH – Relaves La Ciénaga.
- Figura 4.13 ORP vs. TDS – Relaves La Ciénaga.
- Figura 5.1 Mapa de ubicación de muestras de relaves por estaciones y tipos de evaluaciones realizadas.
- Figura 5.2 Gráfico de caja e histogramas de distribución de Au. Izquierda y centro con tres valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.3 Gráfico de cajas para Au por labores de muestreo – Muestras de relaves.
- Figura 5.4 Distribución geoquímica de Au (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.5 Gráfico de caja e histogramas de distribución de As. Izquierda y centro con nueve valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.6 Gráfico de cajas para As por labores de muestreo – Muestras de relaves.
- Figura 5.7 Distribución geoquímica de As (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.8 Gráfico de caja e histogramas de distribución de Pb. Izquierda y centro con diez valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.9 Gráfico de cajas para Pb por labores de muestreo – Muestras de relaves.
- Figura 5.10 Distribución geoquímica de Pb (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.11 Histogramas de distribución de Ag. Izquierda con nueve valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.12 Histogramas de distribución de Fe. Izquierda con ocho valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.13 Histogramas de distribución de Sb. Izquierda con doce valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.14 Histogramas de distribución de Zn. Izquierda con once valores atípicos, derecha histograma sin valores atípicos – Muestras de relaves.
- Figura 5.15 Distribución geoquímica de Ag (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.16 Distribución geoquímica de Cd (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.17 Distribución geoquímica de Cu (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.18 Distribución geoquímica de Fe (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.19 Distribución geoquímica de Hg (ppb) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.20 Distribución geoquímica de S (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.21 Distribución geoquímica de Sb (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.

- Figura 5.22 Distribución geoquímica de Zn (ppm) para los relaves mineros La Ciénaga.
- Figura 5.23 Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (ubicación espacial).
- Figura 5.24 Concentraciones notables de Au y elementos asociados a la mineralización (intensidad).
- Figura 5.25 Ubicación Trinchera LC-I.
- Figura 5.26 Correlación positiva Ag-Pb-As-Sb-Fe para el nivel de enriquecimiento secundario.
- Figura 5.27 Correlación positiva As-Cu-Fe entre los 6.15 y 7.70m.
- Figura 5.28 Figura 5.30 Correlación positiva As-Ag e inversa con Sb entre los 6.15 y 7.70 m.
- Figura 5.29 Ubicación y muestreo de relaves con sondajes "Auger".
- Figura 5.30 Ubicación de trinchera y sondajes "gemelos" – Vista en Planta.
- Figura 5.31 Esquema de ubicación de sondajes "gemelos" – Vista en perfil Modificado de Morche 2019.
- Figura 5.32 RPD de Au entre Trinchera y Sondaje.
- Figura 5.33 Resultados comparativos por tramos – Trinchera vs. Sondajes Auger.
- Figura 5.34 Concentración geoquímica de Au por tramos – Trinchera vs. Sondajes "Gemelos".
- Figura 5.35 Resultados RPD por tramos – Trinchera vs. Sondajes "Gemelos"
- Figura 6.1 Ubicación muestras de agua.
- Figura 7.1 Ubicación muestras de suelos.
- Figura 7.2 Distribución geoquímica de Au – Muestras de suelos.
- Figura 7.3 Distribución geoquímica de As y Pb – Muestras de suelos.
- Figura 7.4 Distribución de pH y CE – Muestras de suelos.
- Figura 7.5 Distribución geoquímica de Ca y pH – Muestras de suelos.
- Figura 7.6 Distribución geoquímica de Mn – Muestras de suelos.
- Figura 7.7 Gráfico de dispersión de Ca % vs. pH.
- Figura 7.8 Gráfico de concentraciones químicas en suelo superficial.
- Figura 7.9 Gráfico de concentraciones químicas en suelo profundo.
- Figura 8.1 Ubicación de estaciones para lecturas espectrales.
- Figura 8.2 Distribución de óxidos y sulfatos – espectrometría de reflectancia.
- Figura 8.3 Distribución de arcillas – espectrometría de reflectancia.
- Figura 8.4 Diagrama Eh-pH remarcándose en rojo el campo de estabilidad del óxido férrico y la jarosita, según Van Breemen, 1976. Tomado y modificado de Silva, 1989.
- Figura 9.1 Ubicación de muestras analizadas por Difracción de Rayos X
- Figura 9.2 Contenido Mineral en relaves en más del 57% de muestras – Difracción de rayos X.
- Figura 9.3 Contenido mineral en menos del 34% de muestras – Difracción de rayos X.
- Figura 9.4 Distribución de minerales en función a su importancia y origen – Difracción de rayos X.
- Figura 9.5 Distribución de minerales secundarios – Difracción de rayos X.
- Figura 9.6 Distribución de sulfuros portadores de Au (pirita y arsenopirita) – Difracción de rayos X.
- Figura 9.7 Distribución de minerales inhibidores de ambientes ácidos (calcita y dolomita) – Difracción de rayos X.
- Figura 9.8 Grupo de minerales principales en los relaves La Ciénaga – Difracción de rayos X.
- Figura 9.9 Distribución de minerales en relaves "inalterados" – Difracción de rayos X.

Fotografías

- Fotografía 1.1 Vista mirando al Este. Apertura de trinchera en depósito "I" (Fotografía tomada por Dr. W. Morche).
- Fotografía 3.1 Vista mirando al Este. Trabajos de relleno de trinchera (depósito "I"), después de la extracción de muestras (Fotografía tomada por Dr. W. Morche).
- Fotografía 3.2 Corte vertical de los relaves pasando por una costra "alterada" de color amarillo blanquecino hasta alcanzar material inalterado de color gris oscuro (Vista mirando al este).
- Fotografía 5.1 Corte de relaves mediante la Trinchera LC-I.
- Fotografía 5.2 Horizonte "hidromórfico" en los relaves.
- Fotografía 6.1 Filtros para aguas. Derecha: sin uso, Izquierda: filtro reteniendo partículas en suspensión.
- Fotografía 7.1 Estación de muestreo 01, muestras: LC-SLGQ-001S, LC-SLGQ-001P.
- Fotografía 7.2 Estación de muestreo 02, muestras: LC-SLGQ-002S, LC-SLGQ-002P.
- Fotografía 7.3 Estación de muestreo 03, muestras: LC-SLGQ-003S, LC-SLGQ-003P.
- Fotografía 8.1 Toma de firmas espectrales en el flanco este del depósito de relaves La Ciénaga "I".

Cuadros

- Cuadro 3.1 Coordenadas de ubicación de trinchera.
- Cuadro 3.2 Relación de muestras en trinchera.
- Cuadro 3.3 Descripción de material de relleno (Muestra LC-I-006).
- Cuadro 3.4 Características físicas y pH de muestras de relaves procedentes de la trinchera LC-I (Oeste Depósito I).
- Cuadro 3.5 Resultados de análisis granulométrico.
- Cuadro 3.6 Resultados geoquímicos por subfracciones.
- Cuadro 4.1 Correlación de Pearson para parámetros fisicoquímicos.
- Cuadro 5.1 Ubicación de muestras de relaves (WGS 84, zona 18).
- Cuadro 5.2 Ubicación de muestras de relaves (WGS 84, zona 18) en "sondajes gemelos".
- Cuadro 5.3 Rangos geoquímicos cualitativos para muestras de relaves.
- Cuadro 5.4 Rangos geoquímicos para Au – Relaves mineros La Ciénaga.
- Cuadro 5.5 Promedio de Au en trinchera y sondajes.
- Cuadro 5.6 Promedio de As por labores de muestreo.
- Cuadro 5.7 Promedio de Pb por labores de muestreo.
- Cuadro 5.8 Tramos y horizontes por Au (Intensidad moderada, alta y anómala).
- Cuadro 5.9 Síntesis de resultados químicos para Au y elementos relacionados a la mineralización.
- Cuadro 5.10 Promedio ponderado con la potencia por niveles geoquímicos - Trinchera LC-I.
- Cuadro 5.11 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Niveles geoquímicos.
- Cuadro 5.12 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (Noroeste).
- Cuadro 5.13 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (Centro).
- Cuadro 5.14 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito I (Sureste).
- Cuadro 5.15 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito II.
- Cuadro 5.16 Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito III.

Cuadro 5.17	Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito IV.
Cuadro 5.18	Resultados geoquímicos de Au y elementos asociados a la mineralización – Depósito V.
Cuadro 5.19	Sondajes “Gemelos” para evaluación de representatividad de muestreo.
Cuadro 5.20	Tramos de equivalencias entre muestreos “Principales” y “Gemelos”.
Cuadro 6.1	Relación de muestras de agua.
Cuadro 6.2	Resultados analíticos por aniones.
Cuadro 6.3	Resultados analíticos por metales disueltos.
Cuadro 6.4	Resultados analíticos por metales totales.
Cuadro 7.1	Ubicación de muestras de suelos.
Cuadro 7.2	Características de las muestras de suelos.
Cuadro 8.1	Relación de minerales presentes de forma restringida.
Cuadro 9.1	Clasificación de minerales en función a su importancia y origen – Difracción de rayos X.
Cuadro 9.2	Síntesis de contenidos minerales en relaves inalterados – Difracción de rayos X.



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú

Teléfono: 051 - 1- 618 9800

Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540

www.gob.pe/ingemmet

comunicacion@ingemmet.gob.pe