



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL QA/QC EN LA ETAPA 15
DE LA UNIDAD MINERA SAN JULIÁN,
MUNICIPIO GUADALUPE Y CALVO,
ESTADO DE CHIHUAHUA.**

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Juan Manuel Ortíz Acevedo

DIRECTOR DE TESINA

M.E. Miguel Ildefonso Vera Ocampo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Agradecimientos

A mis padres, por su apoyo incondicional en cada una de las metas y proyectos que he realizado, por su paciencia y su infinito amor; sin ustedes nada hubiese sido posible y quiero que este triunfo lo sientan como propio; a mis hermanos por ser el motor que me impulsa a ser cada día una mejor persona, por las risas compartidas y el amor de familia, siempre serán mis pequeños; a mis abuelos y tíos que siempre me han apoyado, incluso en los momentos más difíciles, por siempre mi gratitud.

A todo el departamento de Geología de San Julián que durante mi residencia profesional me brindaron tiempo y paciencia para aprender todo lo que me fuera posible, además que en el desarrollo de este proyecto nunca me dejaron solo; al ing. Carlos Yáñez a quien siempre agradeceré su paciencia y disposición para la enseñanza, al ing. Daniel Saldívar por hacerme sentir parte de un mismo equipo desde el momento en que llegué, a los ingenieros Adrián Camarillo, Daniel de Luna y Aldo Caldera por su buena vibra y apoyo para mi proyecto y mi estancia; a Sandra, Rosi y Silvita por los buenos momentos como practicantes en el tiempo que convivimos, ¡ojalá podamos volver a coincidir como profesionales! San Julián fue mi escuela en muchos sentidos y siempre los recordaré con el afecto y gratitud que se le guarda a una gran unidad minera.

A la UNAM y la Facultad de Ingeniería por formarme como profesionista y ser humano por solo 20 centavos al año; los mejores años de mi vida han quedado entre sus aulas y pasillos y nunca habré de olvidar mi primer día como universitario.

A los profesores de esta maravillosa universidad que dejaron huella en mí; al ing. Miguel Vera por todos sus consejos, conocimiento, amistad y experiencia compartida, así como la disposición y empuje para dirigir este trabajo; a la maestra Isabel Domínguez por su valioso apoyo en mis experiencias de movilidad y estancias, además de sus aportaciones para la realización de este trabajo. A mis sinodales el Dr. Carlos Garza, el ing. Armando Alatorre y el M. en A. Víctor Pinilla por sus valiosos comentarios para enriquecer este proyecto.

A todos aquellos amigos que se convirtieron en mi segunda familia en esta aventura chilanga; Tetla, Escudero, Elí, Abraham, Lalo, Yutzi, Cacheux y Claudia por los buenos momentos en las prácticas, clases, viajes y fiestas; a Fanny, Charly, Memo y Ulises por lo aprendido y vivido en el cubo; a mi parcerero Jaime por ser el mejor compañero de viaje en las 2 aventuras a Colombia; a Paquito, el eterno capitán de los Geólogos United y un entrañable amigo; a Yessi por compartir mis crisis existenciales de tesista y ser la mejor burócrata en el proceso de titularme; a mis roomies Laura, Óscar, Humberto y Raúl con quien compartí grandes momentos en casa.

A cada uno, ¡gracias!, nunca me van a alcanzar las palabras para expresar mi gratitud.

“Gracias a la vida, que me ha dado tanto” (Violeta Parra)

ÍNDICE

Resumen.....	4
Abstract.....	5
Objetivo.....	6
I. Introducción.....	6
a) Localización y vías de acceso	7
b) Marco geológico	8
c) Geología del distrito minero San Julián.....	9
d) Alteraciones hidrotermales	13
e) Mineralización.....	14
II. Método de trabajo	15
1.- Análisis FODA	15
2.- Aseguramiento y control de calidad (QA/QC)	16
3.- Seguimiento y análisis de las muestras QA/QC.....	18
4.- Equipo de trabajo	23
a) Equipo necesario	23
b) Coordinador del proyecto.....	23
c) Recurso humano.....	24
5.- Plan de trabajo	24
a) Detalle de actividades	24
b) Cronograma	25
c) Beneficios esperados	26
d) Desarrollo de actividades.....	26
II.- Herramientas para la toma de decisiones	62
a) Teóricas.....	62
b) Estadísticas	63
IV.- Cierre de proyecto	64
a) Control y seguimiento	64
V.- Conclusiones y recomendaciones	65
Anexos y listado de imágenes, tablas, gráficos y fotografías.....	67
Fuentes de información.....	74

Resumen

En el periodo comprendido entre mayo y agosto del 2018, se realizó el análisis del procedimiento de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) de la mina polimetálica San Julián, ubicada en el municipio de Guadalupe y Calvo, en el estado de Chihuahua, misma que forma parte del grupo Fresnillo PLC.

Se trabajó con las muestras blancas (muestras sin valores metálicos o valores bajos ya conocidos) y las muestras repetidas en campo (muestra recolectada dos veces del mismo sitio), mismas que funcionan como principales controles de calidad en el proceso de muestreo geológico al interior de la mina. Se seleccionaron sobrantes de muestras de roca obtenidos en el proceso de determinación de contenidos metálicos en el laboratorio de la unidad minera, y se envían a un laboratorio externo certificado con la finalidad de comparar resultados y obtener conclusiones sobre el proceso de análisis químico y muestreo geológico.

Para el caso de las muestras blancas se realizó el análisis estadístico de los resultados reportados por el laboratorio de la unidad y el laboratorio externo, se identificaron valores anómalos en las mismas; se generaron hipótesis de las anomalías y se prospectaron nuevos sitios para la recolección de estas muestras. Para las muestras repetidas en campo, a través de su análisis estadístico en ambos laboratorios se observaron variaciones en los resultados de la muestra original y su repetida, ocasionados posiblemente por deficiencias en el proceso de muestreo.

Además, se realizó una serie de procedimientos y propuestas que buscan hacer óptima la recepción y almacenaje de los rechazos obtenidos del laboratorio de la unidad minera, así como una rápida y efectiva selección de muestras para reensayos en laboratorios externos, en la búsqueda de reducción de tiempos y costos de la operación.

Abstract

In the period from May to August 2018, the analysis of the quality assurance and control procedure (QA / QC) of the San Julián polymetallic mine was carried out. The mine is in the municipality of Guadalupe y Calvo, in the state of Chihuahua and is part of the Fresnillo PLC group.

It worked with the blank samples (samples without metallic values or low values) and the samples repeated in the field (sample collected twice from the same site), which function as the main quality controls in the geological sampling process inside mine. Remains of rock samples obtained in the process of determining metal contents in the mining unit laboratory were selected and sent to a certified external laboratory in order to compare results and obtain conclusions on the process of chemical analysis and geological sampling.

In the case of blank samples, the statistical analysis of the results reported by the unit's laboratory and the external laboratory was performed, identifying anomalous values in them; hypotheses of the anomalies were generated and new sites for the collection of these samples were prospected. For repeated samples in the field, through their statistical analysis in both laboratories, variations in the results of the original sample and its repeated were detected, possibly caused by deficiencies in the sampling process.

In addition, a series of procedures and proposals were made that seek to optimize the reception and storage of the rejections obtained from the mining unit's laboratory, as well as a quick and effective selection of samples for re-tests in external laboratories, thus seeking to reduce time and costs of the operation.

Objetivo

- Establecer parámetros de mejora en el proceso de aseguramiento y control de calidad (QA/QC, por sus siglas en inglés) de la unidad minera San Julián, Chihuahua, con base en el análisis estadístico de las muestras de control para verificar la eficiencia del proceso.

Con el propósito de alcanzar el objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Selección y recopilación de muestras blancas y repetidas de la etapa de estimación actual para llevar cada una al criterio de tercerías (tres análisis de laboratorio para una misma muestra de roca).
- Establecimiento de criterios que hagan óptima la selección de muestras para las siguientes estimaciones.
- Aplicación de orden y limpieza al proceso de recepción-almacenaje de los sobrantes de laboratorio.
- Elaboración de una propuesta de acciones y procedimientos que repercutan en la mejora del programa QA/QC de la unidad.

I. Introducción

El presente trabajo se desarrolló en el marco del programa de residencias profesionales entre Grupo BAL y Fundación UNAM, en un periodo de 3 meses que abarcó desde el 23 de mayo hasta el 19 de agosto del 2018, durante este tiempo se realizaron diferentes actividades geológico-mineras en la unidad San Julián propiedad del grupo Fresnillo PLC, misma que se encarga de explorar y explotar minerales de oro y plata principalmente, así como plomo y zinc en un sistema de vetas hidrotermales y un yacimiento diseminado conocido como cuerpo JM.

El proyecto “Control de QA/QC” forma parte de los proyectos “Green Belt” que actualmente maneja el departamento de Geología de la Unidad San Julián, estos tienen como finalidad lograr una mejor eficiencia de las actividades que se realizan al interior de las unidades mineras, algunos de ellos son la búsqueda de agua para la operación

de mina, optimización de la barrenación a diamante y por ultimo, el descrito en este trabajo.

Para la realización de este proyecto se seleccionaron y analizaron estadísticamente muestras duplicadas y blancas cuya función es asegurar un control de la calidad del muestreo y análisis químico. Estas muestras de roca fueron seleccionadas de la etapa de estimación número 15, que comprende todos los muestreos realizados en interior mina en un periodo del 8 de abril al 7 de agosto del 2018. La importancia de trabajar con las muestras de esta estimación radica en la proximidad en fechas del nuevo cálculo de recursos minerales por parte del departamento de geología, pues la información obtenida de las muestras al interior de la mina servirá para continuar con el proceso de explotación de nuevas zonas en la unidad minera.

Además se llevaron a cabo tercerías para las muestras de control mencionadas anteriormente, enviándolas a un laboratorio certificado. Con base en los resultados obtenidos se tomaron decisiones respecto al manejo del programa QA/QC de la unidad.

Parte fundamental del proyecto fue la interacción con cada una de las áreas que integran el departamento de Geología, pues el QA/QC en cada una de ellas es indispensable para garantizar que la información obtenida de los muestreos y ensayos químicos es precisa y exacta. Por este motivo además del desarrollo de los objetivos planteados anteriormente, se realizaron actividades teórico-prácticas enfocadas al aprendizaje de las necesidades laborales de un geólogo de mina en cada una de las partes que conforman el departamento de Geología, además se realizó una visita al laboratorio de la unidad y una estancia de tres días con la división de Exploraciones Chihuahua.

a) Localización y vías de acceso

La Unidad San Julián se localiza en el extremo SW del estado de Chihuahua en el límite estatal con Durango, aproximadamente a 292 km en línea recta de la ciudad de Chihuahua. A partir de la ciudad de Hidalgo del Parral, se recorren por la carretera federal no. 24 hacia Guadalupe y Calvo, 163 km, pasando por Puerto Justo y el Vergel hasta el entronque denominado Cebollas, desde este punto se continúa por 33 km de

brecha en buenas condiciones hasta la unidad. El recorrido es de aproximadamente tres horas, cuarenta minutos. En la figura 1 se puede observar la ruta a seguir desde la ciudad de Parral a la unidad minera.

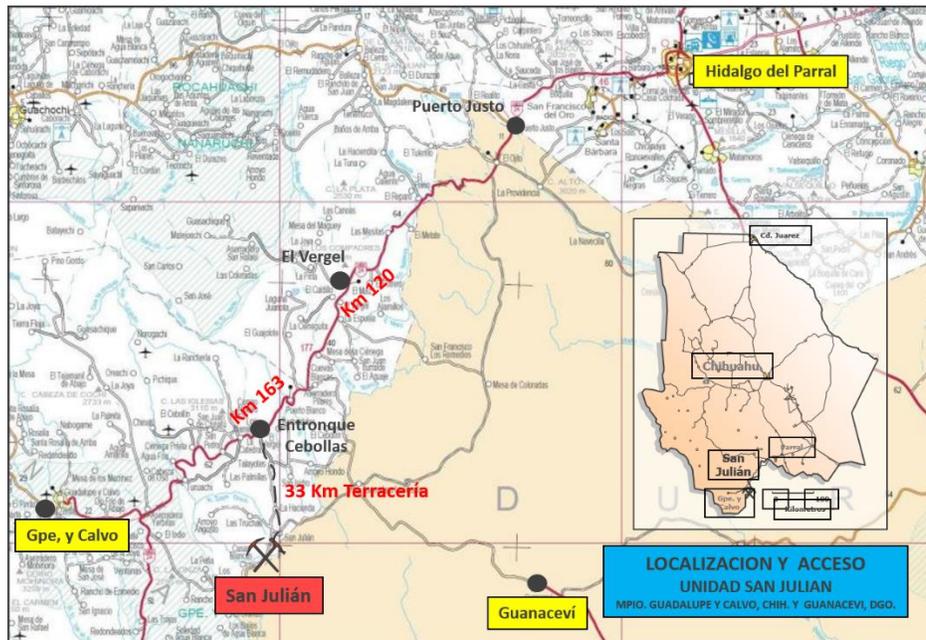


Figura 1.- Ruta Hidalgo del Parral- San Julián. (Saldívar et al., 2017)

b) Marco geológico

De acuerdo con el informe presentado por Saldívar Morales (et. al, 2017), los aspectos geológicos más importantes de la región son los siguientes:

Fisiografía

El distrito San Julián se encuentra en la cima de la provincia de la Sierra Madre Occidental, en una zona de transición hacia la subprovincia de Las Barrancas y la subprovincia de La Altiplanicie o Meseta Lávica Riolítica, caracterizada por montañas alargadas con orientación predominante al Noroeste - Sureste.

Los procesos endógenos más importantes son de carácter ígneo, principalmente volcánicos, además de fallas normales de alto ángulo. Por otra parte, los procesos exógenos que inciden en la evolución geológica de la región se deben a la acción

erosiva de múltiples corrientes y patrón de drenaje que varía de subparalelo a dendrítico.

Estructuras regionales

En lo que respecta a estructuras observadas en la región, se pueden distinguir 3 sistemas principales: ENE, NNE y estructuras de tipo semi-circular, dichos sistemas pudieron haberse originado antes del Oligoceno.

- Sistema ENE y NNE

El origen de este sistema está relacionado a la segmentación y subducción de la placa Farallón bajo la placa de Norteamérica durante el período de compresión de la denominada Orogenia Laramide, a través de fallas tipo “*transfer*” ENE y es este sistema estructural que se ve fuertemente representado por la mayoría de las vetas del distrito minero.

- Sistemas semi-circulares

Estos rasgos son mas difíciles de observar en campo debido a los altos grados de erosión; sin embargo, se facilita su detección en imágenes de satélite. Estas estructuras están relacionadas con calderas desarrolladas durante el Oligoceno-Mioceno mismas que funcionaron como conductos para las secuencias piroclásticas en el área.

c) Geología del distrito minero San Julián

La columna litoestratigráfica de San Julián ha sido descrita por Saldivar (et. al., 2017) como sigue:

Rocas sedimentarias

-Sedimentos (CZ-LU). La cima de esta unidad se conforma por intercalaciones de conglomerados polimícticos. Los fragmentos son subredondeados y comprenden clastos de calizas, lutitas–limolitas, areniscas y andesitas, ocasionalmente se encuentran líticos vulcano-sedimentarios de composición ácida. La base consiste de

intercalación de laminaciones de lutita–limolita negra con materia orgánica. La edad probable es del Cretácico Inferior.

Rocas volcánicas

- Brechas y/o aglomerados andesíticos (BX-AND). Intercalación de horizontes arenosos gruesos o aglomerados andesíticos sub-redondeados y regularmente, fragmentos líticos con bordes de calcita y/o hematita. Se relacionan con el complejo volcánico inferior de la SMO y en San Julián afloran en la localidad de La Calera.

-Tobas arenosas (TA). En esta secuencia se consideran capas de tobas de lapilli, de color verde claro a olivo por la alteración clorítica. Comprenden intercalaciones de tobas de composición ácida con matriz arenosa de grano fino a medio y ocasionalmente grueso. Se observan planos de pseudoestratificación. El espesor de esta secuencia se considera de 250 metros.

-Tobas líticas (TL). Conjunto conformado por rocas piroclásticas félsicas, la textura es brechoide, constituida por fragmentos de riolitas, riodacitas y tobas con planos de pseudoestratificación. Además, se observan fragmentos de cuarzo, fiammes y biotita. Presenta alteración propilítica débil y aproximadamente tiene 400 metros de espesor.

-Emisiones riolíticas (R-MAS). Estas rocas presentan estructura masiva y ocasionalmente fluidal, constituida por una matriz afanítica con fragmentos de cuarzo, líticos pequeños y pirita fina. Se observan además zonas locales de autobrechamiento con microvetilleos de cuarzo incoloro a gris. Su espesor puede variar de 25 a 50 metros.

-Tobas andesíticas (T-AND). Es una roca de color verde a gris pardo en superficie fresca, con meteorización esferoidal. Está conformada por plagioclasas microcristalinas en una matriz equigranular con escasa pirita diseminada. Los horizontes son menores a 10 metros.

-Toba cristalina (T-CRS). Esta roca se caracteriza por el gran contenido de cristales de cuarzo y escasos líticos soportados por una matriz vitro-cristalina. Se observan planos

de pseudoestratificación con bandeamientos vítreos con textura esferulítica. El espesor varía entre 50 y 70 metros; operativamente se define como toba de cristales.

-Dacitas (DAC). Es una roca de color gris a púrpura con apariencia de lavas. La textura es porfídica, los fenocristales son de plagioclasas, en menor proporción feldespatos potásicos y fragmentos de cuarzo, abundante biotita y hornblenda. Además, se observa escaso vetilleo de calcita blanca. La base de esta roca tiene una apariencia conglomerática. La secuencia tiene un espesor aproximado de 300 metros.

-Ignimbrita Piedra Larga (T-IGA). La constituyen rocas de composición ácida. Se consideran las rocas más jóvenes que afloran en San Julián y coronan las rocas de la región y son post-minerales. Hacia la base están constituidas por tobas vitrocrystalinas con abundante biotita mientras que la cima la constituye una secuencia ignimbrítica. El espesor de esta secuencia puede alcanzar de 800 a 1000 metros.

Rocas sub-volcánicas

-Diques y diapiros, domos y/o diques de riocacita fluidal (D-RdFI). Estas rocas son de composición ácida, la matriz es afanítica y presenta estructura fluidal. La textura es vítrea y ocasionalmente presentan esferulitas. Estas rocas cortan las secuencias volcánicas anteriormente descritas, excepto las rocas dacíticas, Ignimbrita Piedra Larga y Domo Rojo. El espesor de dichos diques es variable de centímetros hasta decenas de metros.

En la figura 2 se pueden observar cada una de las unidades geológicas descritas anteriormente, así como sus respectivas relaciones de corte.

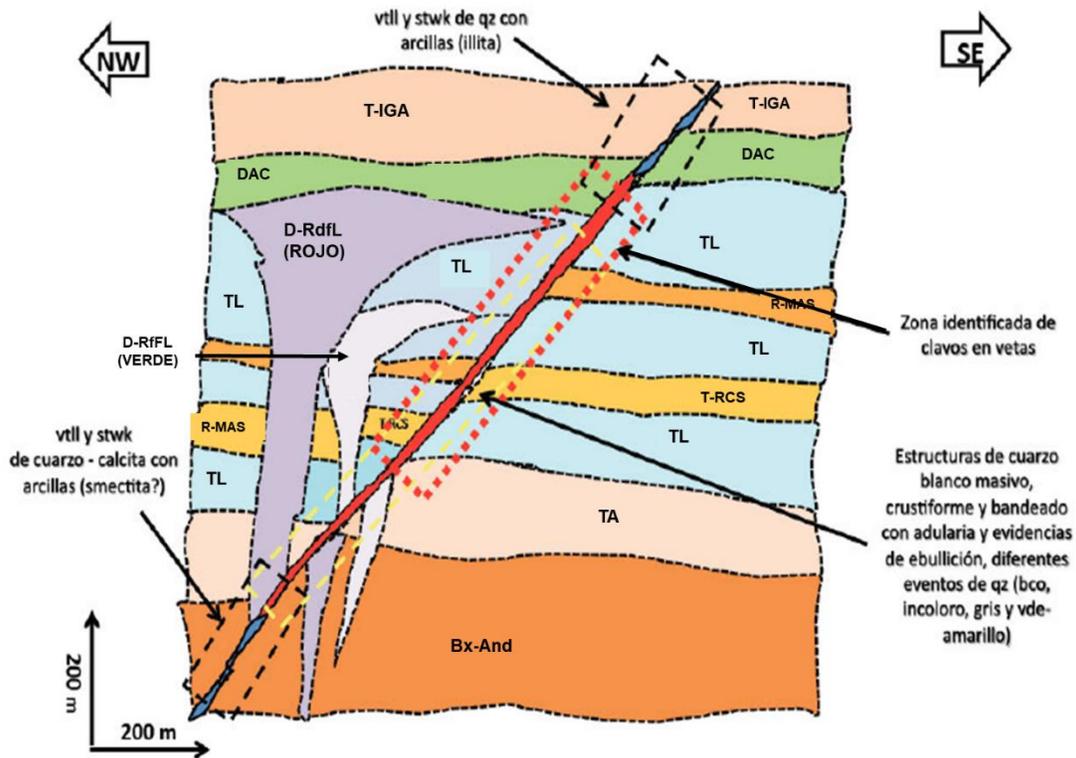
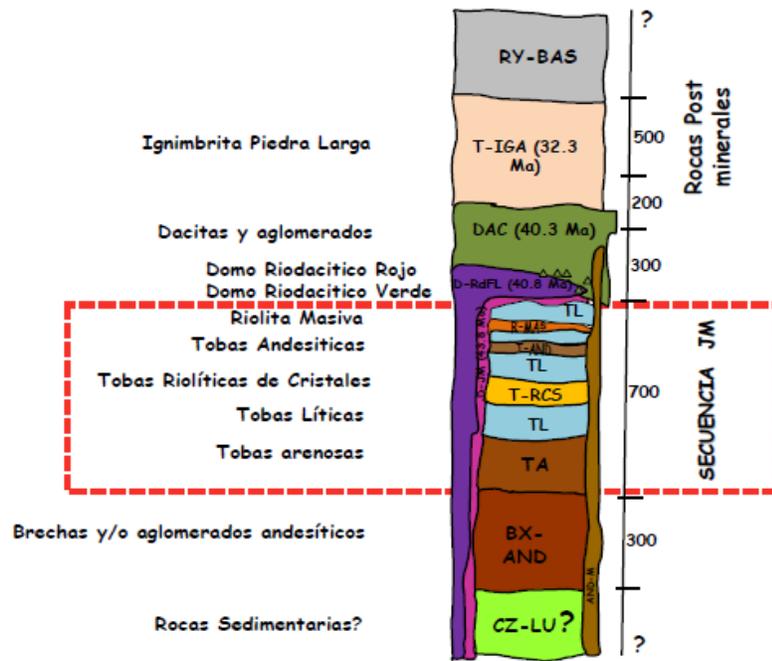


Figura 2.- Columna litoestratigráfica de la unidad San Julián. Modificada de (Saldívar et al., 2017)

d) Alteraciones hidrotermales

En el distrito de San Julián se pueden observar, tanto superficialmente como con barrenación, diferentes evidencias de actividad hidrotermal que forman una serie de alteraciones como la argílica, oxidación, propilitización y localmente silicificación.

Alteración argílica:

Está constituida por caolinita, illita-smectita, en campo se puede reconocer por rocas deleznales de color blanco-amarillento. Estas zonas de alteración pueden corresponder ocasionalmente a vetas profundas o zonas de falla. La alteración asociada de illita-smectita también está presente en el cuerpo JM, así como en sus periferias.

- Alteración propilítica

Se tiene principalmente asociada al cuerpo JM y está constituida por un núcleo de pirita eudral con vetilleos de calcita blanca y pirita fina-clorita, mientras que en los extremos y partes profundas se observa epidota en vetillas y como reemplazamiento de cristales, matriz y líticos.

- Oxidación

En las partes superiores del sistema (diseminado y vetas), se pueden observar zonas oxidadas producto de la alteración de algunos minerales como la pirita y otros productos de la actividad hidrotermal que afectó el área, representada por óxidos de fierro como la hematita, jarosita, goethita y óxidos de manganeso (pirolusita) en las partes altas del sistema. Forman zonas rojizas-amarillentas, y están emplazadas principalmente en la zona de mayor meteorización física, química y ocasionalmente biológica de las rocas. Estas zonas se encuentran entre los primeros 20 a 40 metros de profundidad.

- Silicificación y piritización

Se ubica en las proximidades de las vetas del distrito y se observa como vetilleos de cuarzo, silicificación débil a fuerte y ocasionalmente como sílice de remplazamiento;

forman zonas de mayor competencia hacia el alto y bajo de las vetas. Las partes superiores del cuerpo JM también presentan este tipo de alteración.

e) Mineralización

En el distrito San Julián se presentan dos diferentes estilos de mineralización que se encuentran definidos por Saldivar (et al., 2017); según su ocurrencia y tipo de yacimiento: reemplazamiento JM (~43.8 Ma) y vetas hidrotermales de baja sulfuración (~40 a 28 Ma)

Las principales rocas huésped son las rocas sub-volcánicas y las tobas líticas (TL), arenosas (TA) y brechas andesíticas (BX-AND). En las unidades volcánicas se aprecia cierto control litológico derivado de su permeabilidad primaria, llegando a tener morfología tipo “stratabound”. Las tobas riolíticas de cristales (T-RCS) presentan escasa disseminación y actúan como sello superior de la mineralización dada su escasa permeabilidad. Conforme se avanza en profundidad, disminuye el contenido de plata y se incrementa el de cobre (calcopirita y bornita).

***Reemplazamiento JM**

Representado por el cuerpo JM, de rumbo general NE20° y echado de 75 a 80° al NW. Se trata de un yacimiento disseminado con relleno de fracturas en menor proporción, hospedado en rocas de composición riolítica y sub-volcánicas. Los minerales de mena están representados por sulfuros como esfalerita acaramelada, galena y galena argentífera en disseminaciones, así como ocasional proustita-pirargirita y rara vez electrum en zonas de sulfuros masivos representados por vetilleos y vetas angostas; las disseminaciones ocurren reemplazando planos de flujo, cristales y/o fragmentos líticos de las rocas encajonantes.

*** Vetas hidrotermales de baja sulfuración**

Éstas se describen como vetas-falla de forma lenticular, originadas a partir de soluciones hidrotermales, su mineralización principal es auroargentífera. Estas estructuras se pueden dividir en 4 grupos principales según sus características texturales y posición en el sistema hidrotermal local:

- a) Vetas de cuarzo blanco masivo, abundantes texturas de ebullición y escasa adularia.
- b) Vetas de cuarzo blanco crustiforme a bandeado con pirita fina diseminada.
- c) Vetas conformadas por cuarzo verde, amarillento y blanco de texturas masivas a crustiforme-bandeado con escasa adularia y bandas de calcita negra.
- d) Vetas constituidas por cuarzo blanco masivo a bandeado con abundante clorita y pirita.

II. Método de trabajo

1.- Análisis FODA

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Apoyo del departamento.	Optimización de costos a futuro.	Corto plazo de tiempo.	Extravío o daño de material necesario.
Zona de trabajo segura.	Generar procedimientos de mejora.	Manejo de herramientas geostadísticas.	Tiempos de respuesta de laboratorio.
Conocimiento de todas las áreas del departamento.	Toma de decisiones.	Movilidad y disponibilidad de personal reducida.	Mal manejo del procedimiento anterior.

Tabla 1.- Análisis FODA

Con el análisis FODA realizado se buscó potencializar los aspectos positivos en el desarrollo del proyecto, así como reconocer los negativos con la finalidad de convertirlos en áreas de oportunidad. Las amenazas identificadas dieron lugar a algunas de las propuestas en el procedimiento de recepción y almacenaje de sobrantes de laboratorio. Por su parte, las debilidades fueron atacadas con una actitud de proactividad que permitió realizar múltiples tareas encaminadas al desarrollo del proyecto a pesar de las limitantes existentes.

2.- Aseguramiento y control de calidad (QA/QC)

QA/QC es un acrónimo para “Quality Assurance / Quality Control” o Aseguramiento y Control de Calidad. Es una metodología aplicable a distintos rubros, por lo cual no existe una fórmula o pauta a seguir para su implementación. En la industria minera es utilizado con la finalidad de garantizar una confiabilidad en el muestreo y cálculo de reservas minerales. Matulic (2015) considera que “el éxito que pueda lograr su implementación dependerá de lo riguroso y sistemático que sea el sistema de gestión y la efectividad de la aplicación del mejoramiento continuo.”

Aseguramiento de calidad (QA): Es un conjunto de actividades de gestión planificadas y sistemáticas, que permiten asegurar la calidad de los procesos, mediante la prevención de defectos (Mangino, 1996). En minería se enfoca a un sistema de calidad para demostrar y cuantificar la confiabilidad de los datos de los ensayos (Garay, 2013).

Control de calidad (QC): Es un sistema de actividades técnicas rutinarias para identificar defectos, medir y controlar la calidad de una actividad o producto determinado (Mangino, 1996). Por su parte, Garay (2013) afirma que se trata de los mecanismos, acciones, herramientas que se realizan para descubrir la presencia de errores, son los procedimientos utilizados para mantener el nivel de calidad deseado en la base de datos de los ensayos.

El departamento de Geología ha determinado (Unidad San Julián Fresnillo PLC, 2017) que con ayuda de un buen programa QA/QC se puede:

- ✓ Prevenir el ingreso de grandes errores a la base de datos utilizada para el modelado y estimación de recursos minerales.
- ✓ Demostrar que las discrepancias analíticas de los muestreos de roca son pequeñas, con relación a las variaciones geológicas.
- ✓ Garantizar que la precisión de la información en la que se basa el modelo de recursos minerales pueda ser confirmada, dentro de los límites razonables, por otros laboratorios, ensayos metalúrgicos y en última instancia por la producción de la planta de beneficio.

Tipo de muestras QA/QC que se toman en el interior de la mina San Julián.

Muestras blancas: Se trata de muestras sin valores metálicos o valores bajos ya conocidos. Pueden tomarse de roca y/o veta estéril comprobada (Unidad San Julián Fresnillo PLC, 2017). Se recomienda insertar una de estas muestras por cada 20 que se analizan en laboratorio, en función del volumen de muestreo. Éstas muestras tienen la función de encontrar y prevenir posible contaminación del laboratorio. Su extracción se realiza de bancos de materiales ubicados dentro de los predios de la mina, al inicio de este proyecto se contaba únicamente con un banco.

Muestras repetidas en campo: Se toma una muestra repetida, elegida intencionalmente, de una estructura mineralizada o a criterio del geólogo para tener un parámetro comparativo a la hora de que se envíen y lleguen los resultados de laboratorio. Estas muestras pueden ser seleccionadas sistemáticamente o al azar dependiendo del yacimiento.

Tercerías: Es conveniente obtener dobles muestras de pulpas o sobrantes (muestras del mineral devueltas por el laboratorio cuyo proceso terminó hasta la pulverización) para ser enviadas a dos laboratorios adicionales. La comparación de valores entre tres laboratorios evidencia la exactitud del ensaye. El proceso (preparación-ensaye) se verifica con el envío de pulpas a otros laboratorios de prestigio (Unidad San Julián Fresnillo PLC, 2017).

Las muestras colectadas de forma cotidiana, así como las utilizadas para el QA/QC son capturadas en la base de datos elaborada por la empresa con la finalidad de tener un orden que permita una rápida manipulación de datos de algún sitio en específico o para el momento de realizar las estimaciones minerales.

La figura 3 muestra una parte de la estructura de la base de datos, donde se captura el número de la muestra obtenida, la ubicación de la misma (lugar, veta, nivel, frente y línea), tipo de muestreo, características (clasificación) y un apartado con las leyes del mineral que son reportadas por el laboratorio (esta última de carácter confidencial, y ha sido omitida de la figura).

Lugar	Veta	Nivel	Frente	Tipo	No. Muest	No. Fajil	Línea	Clasif.
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,468	66,465	12	BLANCA
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,469	66,469	13	BX
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,470	66,470	14	VSHN
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,471	66,470	14	REPETIDA
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,472	66,472	15	VSHN
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,473	66,473	16	VSHN
REBAJE SHALOM NORTE	Veta Shalom Norte	2,230	E	CANAL	66,474	66,473	16	REPETIDA

Figura 3.- Parte de la base de datos de muestreo con controles QA/QC

3.- Seguimiento y análisis de las muestras QA/QC

Una vez realizado el muestreo de roca en cada una de las áreas y la introducción de las muestras para el control de calidad, se procede a determinar la composición química de las mismas en un laboratorio de ensayos, para el caso de la unidad San Julián se cuenta con un laboratorio interno que reporta los valores de Au - Ag en g/t y Pb - Zn en %; a su vez, se utilizan dos laboratorios externos certificados a los cuales se envían cada determinado tiempo para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos internamente. También se cuenta a nivel departamental con un analizador portátil de fluorescencia de rayos X que proporciona información rápida sobre la composición de una muestra sin necesidad de realizar un proceso meticuloso de laboratorio, este equipo proporciona resultados en un intervalo de tiempo aceptable en comparación con un laboratorio.

Como parte del seguimiento, deben realizarse informes, periódicamente, sobre los resultados obtenidos tanto en el laboratorio de la unidad como en los externos, a fin de descubrir anomalías o fallas en alguna parte del proceso de control. Con la información obtenida de laboratorio generalmente se realiza la estadística descriptiva que contempla algunos conceptos definidos por Borrás García et al., (1985) de la siguiente manera:

- **Media:** Se define como el promedio aritmético de los datos de una muestra.
- **Mediana:** Es el valor que corresponde a la mitad de los datos ordenados de una muestra.
- **Moda:** Se define como el elemento de la muestra que tiene la máxima frecuencia, es decir, aquél que más se repite.
- **Varianza:** Es uno de los más importantes parámetros descriptivos, ya que es un indicador de la dispersión de los posibles valores de la variable aleatoria con respecto a su media.
- **Desviación estándar:** Es una medida de dispersión que corresponde a la raíz cuadrada de la varianza.
- **Curtosis:** Analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Pueden definirse 3 tipos de distribuciones según su grado de curtosis: mesocúrtica (= 0), leptocúrtica (> 0) y platicúrtica (< 0).
- **Coefficiente de asimetría:** Permite establecer el grado de simetría que presenta una distribución de probabilidad de una variable aleatoria sin tener que hacer su representación gráfica. Asimetría positiva (> 0), negativa (< 0) y simétrica (= 0)
- **Rango:** Medida de dispersión que indica la máxima separación, está definida como el resultado de restar el valor máximo menos el mínimo de las muestras.
- **Mínimo:** Valor más bajo de la muestra.
- **Máximo:** Valor más alto de la muestra.
- **Suma:** Resultado de la operación de adición de cada uno de los valores de las muestras.
- **Cuenta:** Es el número total de elementos de la muestra.

Es conveniente representar los datos en gráficos que permitan una visualización más práctica de los resultados y ayuden a evidenciar anomalías y errores, los más utilizados son los siguientes:

Gráfico de dispersión (Scatter plot): Es un resumen útil de un grupo de datos bivariados. Da una buena visión de la relación entre las dos variables, y ayuda a la

interpretación de los coeficientes de correlación o el modelo de regresión (Universidad de Valencia, 2018). Si existe una relación lineal la mayoría de los puntos tienden a agruparse alrededor de una línea recta.

Como se observa en la figura 4, si la línea alrededor de la que los puntos tienden a agruparse va de abajo a la izquierda hacia arriba a la derecha, la relación entre las dos variables es positiva. Si la línea va de arriba a la izquierda a abajo a la derecha, la relación es negativa. Si hay un grupo de puntos aleatorios, no hay relación entre las variables (correlación muy baja o cero). La correlación muy baja o cero puede resultar de una relación no lineal entre las variables. Un gráfico de dispersión mostrará las relaciones no lineales entre dos variables y la existencia de valores extremos en los datos.

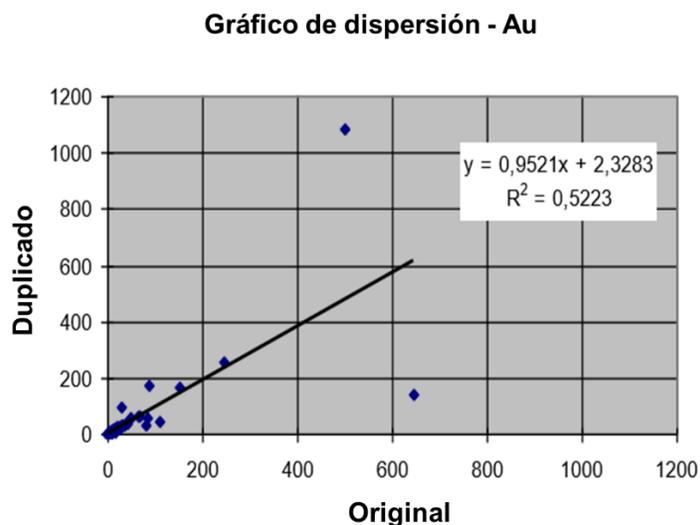


Figura 4.- Ejemplo de Scatter plot. Modificada de (MAGRI Consultores Limitada, 2018)

QQ Plot: De acuerdo con la (Universidad de Valencia, 2018) el diagrama cuantil-cuantil (q-q) es una técnica gráfica para determinar si dos conjuntos de datos provienen de poblaciones con una distribución común.

Un gráfico Q-Q es un gráfico de los cuantiles del primer conjunto de datos contra los cuantiles del segundo conjunto de datos. Un cuantil, hace referencia a la fracción (o porcentaje) de puntos por debajo del valor dado. Es decir, el cuantil 0.3 (o 30%) es el

punto para el cual el 30% por ciento de los datos caen por debajo y el 70% caen por encima de ese valor.

En la gráfica Q-Q se traza una línea de referencia de 45 grados (figura 5). Si los dos conjuntos provienen de una población con la misma distribución, los puntos deberían caer aproximadamente a lo largo de esta línea de referencia. Cuanto mayor sea la desviación de esta línea de referencia, mayor será la evidencia para la conclusión de que los dos conjuntos de datos provienen de poblaciones con diferentes distribuciones.

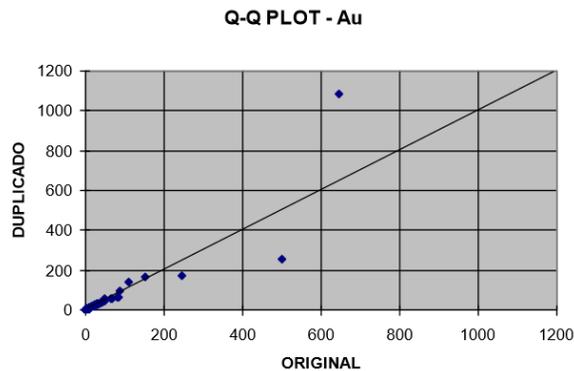


Figura 5.- Ejemplo de Q-Q plot. Tomada de (MAGRI Consultores Limitada, 2018)

HARD plot: “*Half absolut relative difference*”, se construye ordenando diferencias relativas absolutas de menor a mayor en el eje vertical, mientras que en el eje horizontal se grafica la proporción de datos acumulados para cada par.

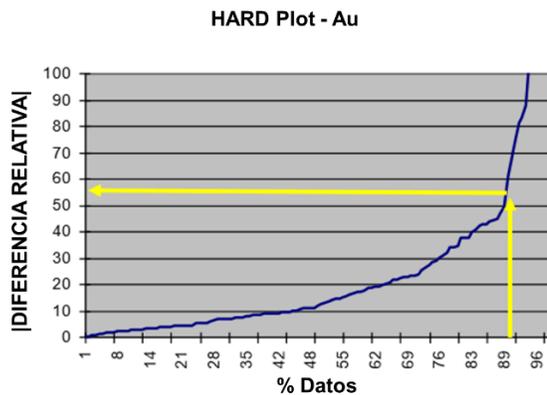


Figura 6.- Ejemplo de HARD plot. Modificada de (MAGRI Consultores Limitada, 2018)

Para el ejemplo de la figura 6, sólo el 45% de los datos tienen diferencia relativa absoluta menor que 10%, mientras que el 11% de los ensayos van a variar por 55% o más.

HRD plot: “*Half relative difference*”, muestra la diferencia relativa entre dos conjuntos de datos (eje Y) en función de la media (eje X). Como lo muestra la figura 7, conforme la media se incrementa, las diferencias relativas deberán ser menores (MAGRI Consultores Limitada, 2018).

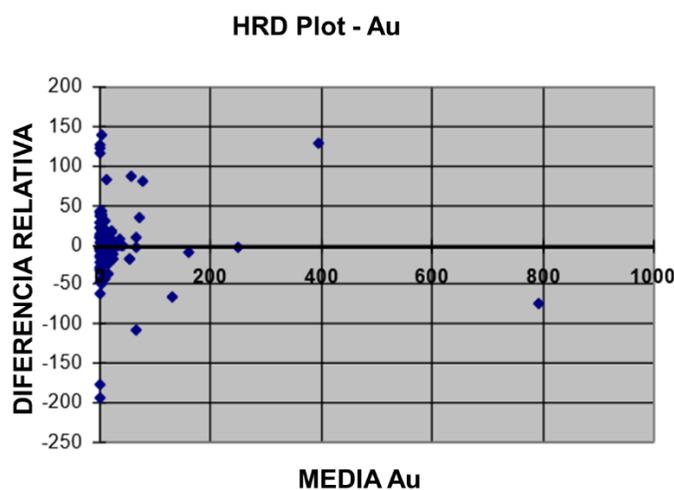


Figura 7.- Ejemplo de HRD plot. Modificada de (MAGRI Consultores Limitada, 2018)

Diagrama de control de estándares: Gráfico que muestra los valores reportados en cada muestra, en comparación con parámetros como la media y los límites mínimos y máximos, (los cuales generalmente se determinan estadísticamente en función de una o dos veces la desviación estandar) que aparecen representados en colores negro y rojo a modo de ejemplo en la siguiente figura. De manera general, la unidad minera espera que al menos 95% de los estándares graficados estén dentro de los límites establecidos.

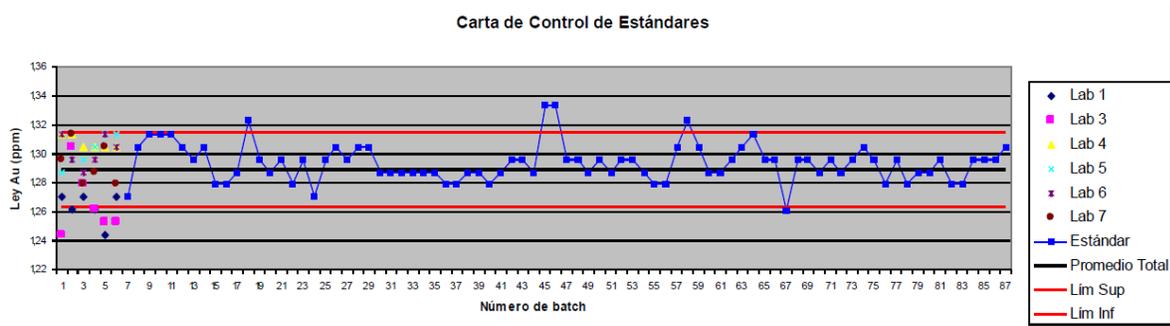


Figura 8.- Ejemplo de diagrama de control de estándares. Tomada de (MAGRI Consultores Limitada, 2018)

El análisis estadístico deberá ser la base para evidenciar anomalías que pudiesen ocurrir ya sea en el proceso de muestreo o en el análisis de laboratorio, mismos que resultan en datos no confiables en el proceso de estimación de recursos. Los resultados deben ser evaluados por el departamento y notificar al laboratorio de la unidad sobre los mismos, esto con la finalidad de corregir errores y/o mejorar el proceso.

4.- Equipo de trabajo

a) Equipo necesario

- Equipo de protección personal: necesario para ingresar al interior de la mina.
- Base de datos: en ella se capturan día a día los reportes de muestreo de roca al interior de la mina que realiza el personal a cargo de Geología.
- Rechazos finos de laboratorio (pulpas): material pulverizado considerado por el laboratorio como representativo de la muestra de roca analizada químicamente, obtenido por cuarteo en el laboratorio; éste es devuelto al departamento de geología para posteriores análisis de verificación.
- Herramienta para muestreo: martillo de geólogo, bolsas, etiquetas y reportes para muestreo.
- Paquetería básica de Office.
- Cajas y sobres de cartón.

b) Coordinador del proyecto

El proyecto fue realizado bajo la tutela del ingeniero Carlos Yáñez López, asesor de exploración del área de vetas; sin embargo, este proyecto contó con la asesoría y

apoyo constante de todo el personal del departamento con observaciones que realimentaron la información generada.

c) Recurso humano

“Dadme un punto de apoyo y moveré al mundo” (Arquímides); ese apoyo fue el departamento de Geología en toda su extensión, desde el coordinador de proyecto y el resto de facilitadores con observaciones y guía de este trabajo, hasta el personal de muestreo del departamento, quienes facilitaron las labores de muestreo, re-etiquetado de muestras y almacenamiento de pulpas.

5.- Plan de trabajo

a) Detalle de actividades

Se realizaron diversas actividades que se distribuyeron a lo largo del período de residencia, todas ellas se enfocaron en cumplir con los objetivos planteados para el proyecto. Se pueden resumir como un proceso metodológico en los siguientes pasos:

1.- Delimitación de muestras a estudiar: Se trabajó con la base de datos del muestreo al interior de la mina para delimitar la primera y última muestra de roca a analizar, esto en función de la disponibilidad de los resultados reportados por el laboratorio. Se separaron estándares blancos y pares de muestras repetidas; a través de un criterio de selección cualitativo se identificaron muestras que no estén en los intervalos permitidos y se solicitó al laboratorio su lote de envío para la elaboración de un listado de cada una de ellas y recopilación de las pulpas correspondientes.

2.- Recopilación de muestras: Se aplicó un procedimiento de orden y limpieza con la finalidad de facilitar el proceso de recolección para esta y futuras campañas de análisis de muestras QA/QC, este procedimiento se explica a detalle en el anexo 1. Se buscaron las muestras enlistadas en cada uno de los lotes recibidos por el laboratorio y se descartaron aquellas que por motivos de deterioro o extravío no estuviesen en condiciones de ser re-ensayadas. Una vez recopiladas se etiquetaron con una numeración diferente a la original y se empaquetaron para ser enviadas al laboratorio SGS en la ciudad de Durango.

3.- Análisis de resultados: Una vez que se reciben los resultados de las muestras re-ensayadas se elaboró su estadística descriptiva y se graficaron los diagramas correspondientes; hecho esto se plantearon acciones basadas en los análisis estadísticos con la finalidad de hacer óptimo el proceso de selección de las muestras para el segundo corte de la base de datos y por último, se exploraron sitios para nuevos bancos de estándares blancos.

4.- Acciones posteriores al análisis de resultados: Con base en los análisis estadísticos y su interpretación se llevaron a cabo actividades con la finalidad de modificar o mejorar alguna parte del proceso de aseguramiento y control de calidad.

5.- Segundo corte a la base de datos y mejora de criterios de selección de tercerías: Posterior al análisis de los resultados obtenidos con el primer envío y las acciones ejecutadas para la mejora de proceso, se realizó el cierre de la etapa 15 con una segunda delimitación de muestras a la base de datos, esta vez con la adición de criterios para perfeccionar la selección de las muestras que deberán ser re-ensayadas, y así reducir los tiempos de recopilación y los costos del proceso.

b) Cronograma

Con base en el objetivo propuesto, y de acuerdo con la disponibilidad de tiempos y espacios se elaboró un cronograma (figura 9) donde se asignó el tiempo en semanas para cada una de las actividades de este trabajo, además de incluirse las diversas actividades realizadas en la unidad minera que complementaron el proyecto.

Actividad	Mayo		Junio				Julio				Agosto		
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13
Inducción Seguridad													
Inducción Dpto. Geología													
Reconocimiento y Actividades en mina													
Primer corte a la BD													
Orden de muestras													
Colecta de muestras													
Análisis con XRF, re-etiquetado y envío de muestras													
Descanso laboral													
Actividades en áreas de influencia													
Análisis estadístico del primer corte													
Visita a áreas de interés del proyecto													
Segundo Corte a la BD													
Elaboración y presentación de reporte													

Figura 9.- Cronograma de actividades realizadas en este proyecto; se encuentra dividido en meses y semanas

c) Beneficios esperados

- Verificar que los procedimientos de control de calidad se estén llevando de forma adecuada.
- Corregir y mejorar aquellos puntos del programa QA/QC que hayan resultado como observaciones de auditoría.
- Generar procedimientos que garanticen un resguardo adecuado de las pulpas o sobrantes de muestra de roca.

d) Desarrollo de actividades

Con base en el proceso metodológico diseñado, se describen a detalle cada una de las acciones ejecutadas. Es importante volver a mencionar que se realizaron dos delimitaciones a la base de datos, cada uno según la disposición de resultados de laboratorio.

Se logró realizar el análisis del 100% de muestras de roca recolectadas durante la etapa de estimación número 15 con los datos reportados por el laboratorio interno; sin embargo, para cumplir con el criterio de tercerías únicamente se analizaron muestras con resultados de laboratorio externo que se obtuvieron en la primera delimitación de la base de datos, quedando pendiente el envío de las tercerías seleccionadas para el segundo corte a fin de cubrir en su totalidad dicho control; los motivos por los cuales se tuvo esta situación, obedecen principalmente al poco tiempo que el autor de este trabajo permaneció en la unidad minera.

1.- Delimitación de muestras a estudiar

Se estableció en la base de datos un intervalo a estudiar para la primera delimitación de la base de datos, comprendido entre las muestras 63,564 (8 de abril del 2018) y 65,392 (24 de mayo del 2018) se obtuvieron un total de **1829 muestras**, todas con valores reportados de Au, Ag, Pb y Zn por el laboratorio de la unidad. En la figura 10 se observan datos como fecha, etapa, localización y tipo de muestreo de la primera y última muestra de roca capturada en la base de datos en el primer corte.



Mes	Día	ETAPA	Lugar	Veta	Nivel	Frente	Tipo	No. Muest.
Abril	8	15	REBAJE MIREYA	Veta Mireya	2,495	W	CANAL	63,564
Mayo	24	15	REBAJE SAN JULIAN	Veta San Julian	2,570	W	CANAL	65,392

Figura 10.- Parte de la base de datos de muestreo en interior mina donde se resaltan la primera y última muestra del primer corte a la base de datos

De la población se seleccionaron específicamente muestras *blancas* y *repetidas* que formaron dos grupos de muestras, a la par se elaboraron en Excel, dos archivos para trabajar cada grupo de muestras. Se utilizaron criterios distintos para realizar la selección de muestras a enviar a laboratorio externo, y quedaron definidos de la siguiente manera:

- Para estándares blancos se recopilaron muestras cuyos valores reportados excedieron 0.1 g/t de Au y 10 g/t de Ag; esta selección resulta como consejo del coach del proyecto, pues a pesar de no contar con un procedimiento para la selección, consideró que dichos valores no cumplen con las características de un ensaye libre de valores metálicos. Con este criterio resultó una selección de **32 muestras**.
- Para muestras repetidas se seleccionó la totalidad de ellas, que tuvo como resultado **189 pares**.

Una vez concluido dicho listado, se solicitó ayuda al laboratorio para conocer el número de lote bajo el cual fueron retornadas al departamento de Geología, esto con la finalidad de agilizar el proceso de recolección.

2.- Recopilación de muestras

Esta parte del proceso fue la más lenta y compleja en un principio, debido a la falta de organización de la bodega donde se almacenan los rechazos y las pulpas que retornan

de laboratorio. Se establecieron acciones para tener un orden y limpieza en el almacenamiento de las pulpas, las principales acciones correctivas fueron las siguientes:

- Se vació la bodega debido a que no se contaba con un orden como se observa en la fotografía 1, cada uno de los lotes se clasificó de acuerdo con la etapa de estimación correspondiente, así pues se separó la 14 (cuyas pulpas fueron enviadas al almacén ubicado en interior mina) de la 15; este último se clasificó de acuerdo con el tipo de envío y así las muestras quedaron distribuidas en Lote Mina (LM), Lote Mina-JM (LM-JM) y Lote Barreno (LB). Por último, se ordenaron de acuerdo con su numeración y se almacenaron temporalmente bajo las mesas de logueo mientras que se realizó limpieza a la bodega de almacenamiento (fotografía 2).

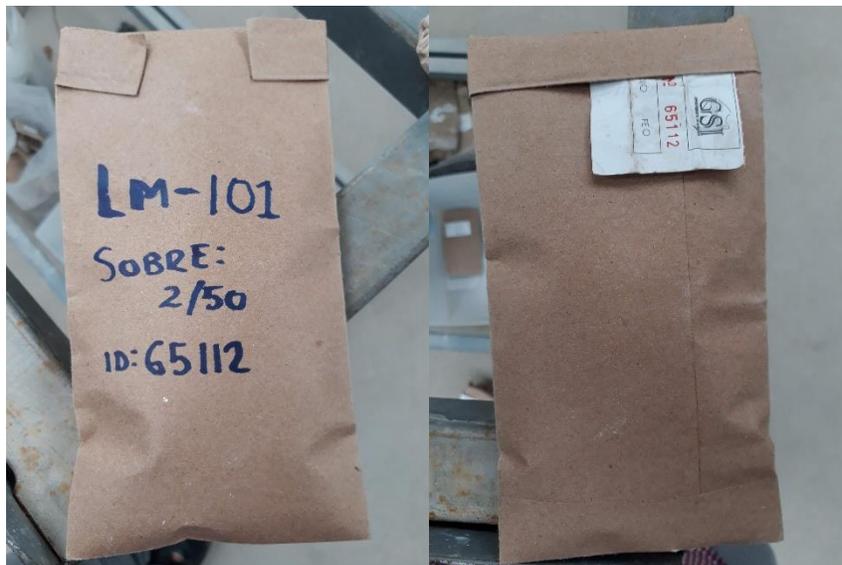


Fotografía 1.- Estado inicial de la bodega de almacenamiento



Fotografía 2.- Bodega después de realizar la limpieza

- Se busca entre cada uno de los lotes almacenados en el área de logeo las muestras previamente seleccionadas. En algunos casos se reordenan los lotes o se reparan/reemplazan algunos de los sobres que contienen los sobrantes (fotografía 3).



Fotografía 3.- Proceso de corrección de sobres dañados (anverso y reverso). Arriba se muestra un sobre dañado, abajo el material reemplazado en un nuevo empaque.

Debido al mal almacenaje, se presentaron casos en los que la pulpa no pudo ser recuperada o se perdió buena cantidad de su contenido, así pues cinco muestras blancas y 13 pares de muestras repetidas tuvieron que ser eliminadas del listado previo, mismas que se omitieron para el proceso de control estadístico.

De forma especial se presentó el caso del LM-0083 cuyas muestras se mojaron completamente, y quedaron inservibles pues se contaminaron con los elementos que

puedan estar disueltos en el agua. A continuación, se enlistan todas las muestras que entraron en esta situación.

NÚMERO DE MUESTRA	TIPO	NÚMERO DE MUESTRA	TIPO
63,633	Repetida	63,671	Repetida
63,634	Repetida	63,672	Repetida
63,638	Repetida	63,678	Repetida
63,639	Repetida	63,679	Repetida
63,643	Repetida	63,688	Blanca
63,644	Repetida	63,689	Repetida
63,646	Blanca	63,69	Repetida
63,647	Repetida	63,707	Repetida
63,648	Repetida	63,708	Repetida
63,651	Repetida	64,583	Repetida
63,652	Repetida	64,584	Repetida
63,658	Repetida	65,153	Repetida
63,659	Repetida	65,154	Repetida
63,665	Repetida	65,198	Blanca
63,666	Repetida	65,324	Blanca
63,667	Blanca		

Tabla 2.- Relación de muestras no recuperadas para el primer envío, se especifica el número y tipo de muestra

- Una vez recolectadas las muestras se procedió a realizar el re-etiquetado para su envío a laboratorio externo, se agregaron muestras estándares blancas para asegurar la calidad de los ensayos de acuerdo con los protocolos establecidos. Antes de proceder a empaquetar y encostalar las pulpas que se enviaron a laboratorio externo se realizó el estudio de las muestras blancas con el analizador portátil XRF Olympus (fotografía 4) con la finalidad de llevar dichas muestras al criterio de tercerías. Debido a la calibración actual del analizador sólo se realizaron ensayos por Ag (ppm) y Pb-Zn (%) donde fuese el caso. Posterior a este proceso fueron enviadas **379 muestras** (20% de la población) al laboratorio SGS ubicado en la ciudad de Durango.



Fotografía 4.- A la izquierda se muestra el análisis con el XRF Olympus Delta, a la derecha se muestra el empaquetamiento de tercerías.

3.- Análisis estadístico

Con la información proporcionada por el laboratorio SGS se procedió a realizar la estadística descriptiva con el complemento “análisis de datos” de Excel, y los gráficos de control de estándar, Scatter plot, QQ plot, HARD plot y HRD plot según el tipo de muestras, a continuación, se presentan a detalle cada uno de ellos.

3.1.- Blancas

En el archivo Excel donde se cargaron las muestras originales con su re-etiqueta se agregaron dos secciones, la primera para agregar los resultados de Ag (g/t) obtenidos con el analizador XRF Olympus y la segunda para los resultados del laboratorio externo Au y Ag (g/t). Con estos se elaboraron los diagramas de control para estándares blancos.

A continuación, se presenta en las tablas 3, 4 y 5 la estadística descriptiva obtenida para los resultados del laboratorio interno, XRF Olympus y el laboratorio externo respectivamente, por su parte los gráficos 1, 2 y 3 muestran los diagramas de control de cada uno de los análisis.

Estos gráficos corresponden únicamente a las muestras que resultaron con alguna anomalía y fueron reensayadas para verificar los resultados del laboratorio interno. Se puede observar tanto en la estadística como en los gráficos que efectivamente se

presentan valores fuera de lo común para dichos estándares, en la tabla 3 se muestra una media de 0.9 g/t y 116 g/t para oro y plata respectivamente, reflejando también en su diagrama de control (gráfico 1) un valor máximo fuera de lo esperado, por lo cual se consideró pertinente realizar una verificación en campo del método con que se seleccionaban y obtenían las muestras blancas, esta verificación es explicada a detalle más adelante.

También es importante mencionar que, en comparación con el laboratorio externo, el XRF reporta valores menores, esto se observa en el cálculo de la media y el valor máximo (tablas 4 y 5, gráficos 2 y 3) e indica una posible necesidad de realizar un diagnóstico de la calibración del equipo.

Parámetro	Au (ppm)	Parámetro	Ag (ppm)
Media	0.90159203	Media	116.503118
Error típico	0.24523312	Error típico	42.8419563
Mediana	0.20425182	Mediana	40.7961958
Desviación estándar	1.27426867	Desviación estándar	222.613335
Varianza	1.62376064	Varianza	49556.697
Curtosis	1.44892041	Curtosis	18.1042311
Coefficiente de asimetría	1.55794577	Coefficiente de asimetría	4.01228752
Rango	4.48291321	Rango	1132.45642
Mínimo	0.00349923	Mínimo	4.51878304
Máximo	4.48641244	Máximo	1136.97521
Suma	24.3429847	Suma	3145.58419
Número de muestras	27	Número de muestras	27
Nivel de confianza (95.0%)	0.5040839	Nivel de confianza (95.0%)	88.0629024

Tabla 3.- Estadística descriptiva para las 27 muestras blancas analizadas en laboratorio interno. Se muestran únicamente los datos para elementos Au y Ag cuya media es muy alta para muestras que se consideran blancas o estériles, por consecuencia, parámetros como desviación estándar y límite máximo se elevan.

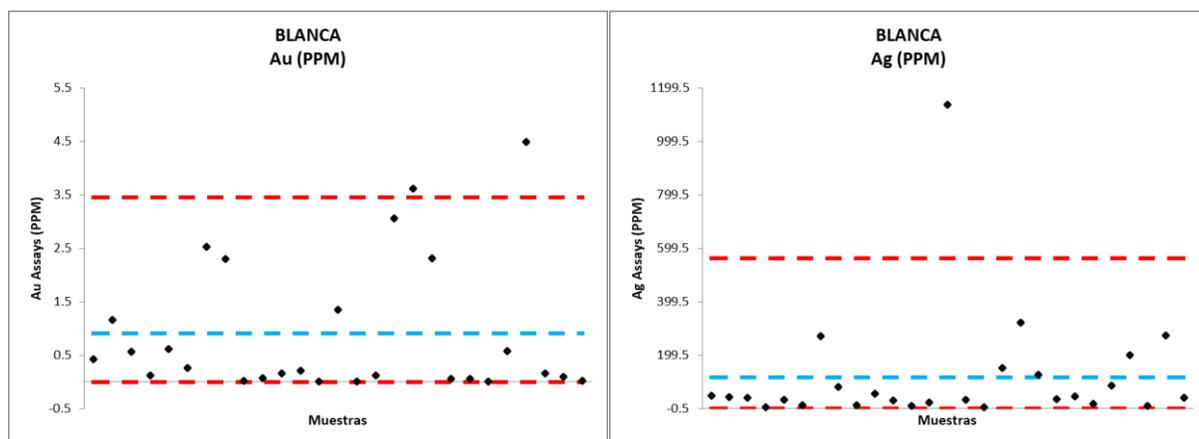


Gráfico 1.- Cartas de control de estándar blanco para las 27 muestras analizadas en el laboratorio interno. Las líneas rojas corresponden al nivel máximo y mínimo (± 2 veces la desviación estándar), mientras que la línea azul indica la media. Aunque la mayoría de las muestras están dentro de los máximos y mínimos, se observa una anomalía pues la mayoría de los valores reportados exceden el criterio de 0.1 g/t para el oro y 10 g/t de plata.

Parámetro	Ag (ppm)
Media	36.48148148
Error típico	10.71750606
Mediana	19.33333333
Desviación estándar	55.68979508
Varianza	3101.353276
Curtosis	11.58031777
Coefficiente de asimetría	3.183183148
Rango	267
Mínimo	0
Máximo	267
Suma	985
Número de muestras	27

Tabla 4.- Estadística descriptiva para las 27 muestras blancas analizadas con el XRF Olympus, se muestran únicamente valores para plata debido a la calibración de elementos del analizador. La media reportada con este analizador discrepa mucho de la reportada en los ensayos de laboratorio interno.

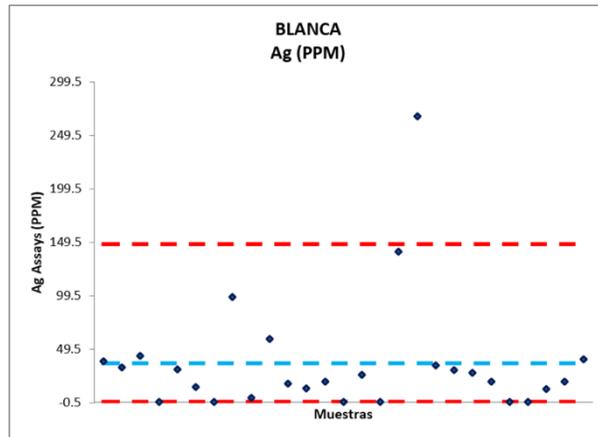


Gráfico 2.- Carta de control de estándar blanco para las 27 muestras analizadas con el XRF OLYMPUS. Las líneas rojas corresponden al nivel máximo y mínimo (± 2 veces la desviación estándar), mientras que la línea azul indica la media. Nuevamente se evidencian los valores anómalos para dichas muestras, reportando valores cercanos a 49.5 ppm de Ag.

Parámetro	Au (ppm)	Parámetro	Ag (ppm)
Media	0.487518519	Media	39.92888889
Error típico	0.158483657	Error típico	12.09272053
Mediana	0.1	Mediana	23.7
Desviación estándar	0.823505237	Desviación estándar	62.83561908
Varianza	0.678160875	Varianza	3948.315026
Curtosis	4.140619488	Curtosis	14.2082405
Coficiente de asimetría	2.124579364	Coficiente de asimetría	3.56261056
Rango	3.205	Rango	310.94
Mínimo	0.005	Mínimo	0.9
Máximo	3.21	Máximo	311.84
Suma	13.163	Suma	1078.08
Número de muestras	27	Número de muestras	27
Nivel de confianza (95.0%)	0.325767822	Nivel de confianza (95.0%)	24.85694304

Tabla 5.- Estadística descriptiva para las 27 muestras blancas analizadas en laboratorio externo, se muestran los valores reportados para Au y Ag. Los ensayos reportados por el laboratorio externo discrepan de los reportados con el laboratorio interno y se asemejan a los obtenidos con el analizador XRF Olympus.

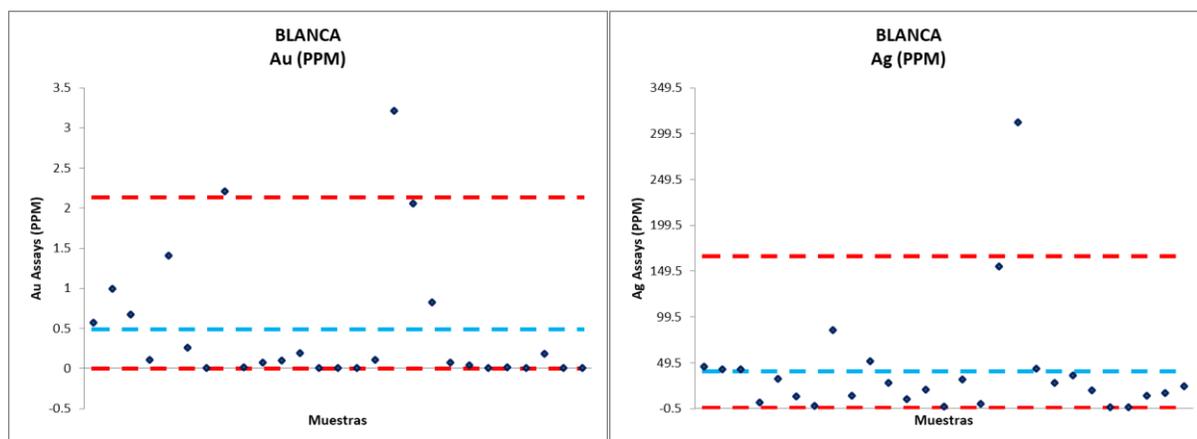


Gráfico 3.- Cartas de control de estándar blanco para las 27 muestras enviadas al laboratorio externo. Las líneas rojas corresponden al nivel máximo y mínimo (± 2 veces la desviación estándar), mientras que la línea azul indica la media. La tendencia es similar a lo visto en el analizador XRF Olympus.

Para determinar la variación entre el laboratorio interno y un laboratorio externo certificado se realizaron los gráficos de dispersión (*Scatter Plot*) y los diagramas Cuantil-Cuantil (QQ), de Diferencias Relativas Absolutas (*HARD*) y de Diferencias relativas entre dos conjuntos de datos (*HRD Plot*) para analizar la correlación de los ensayos; se realizaron únicamente para Au y Ag por ser los elementos de mayor interés económico y porque en ensayos con Pb y Zn no se contaba más que con cinco muestras.

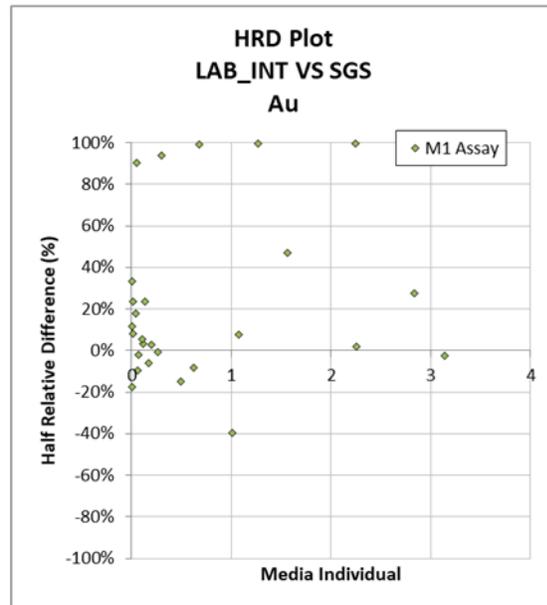
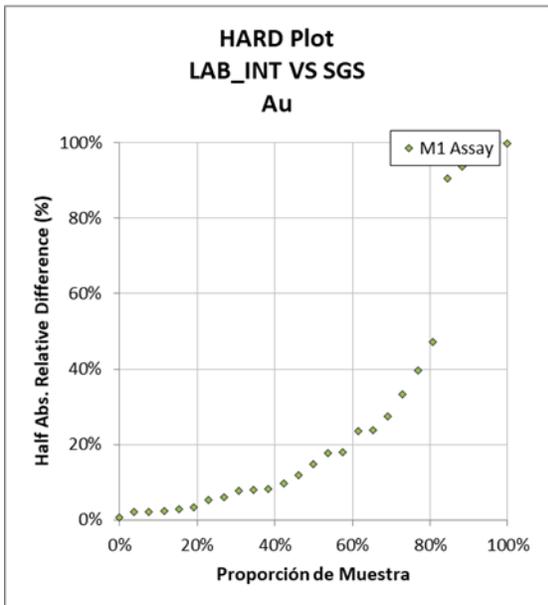
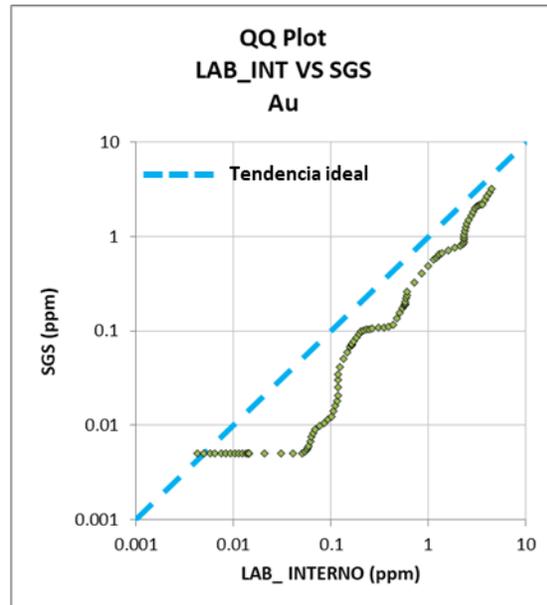
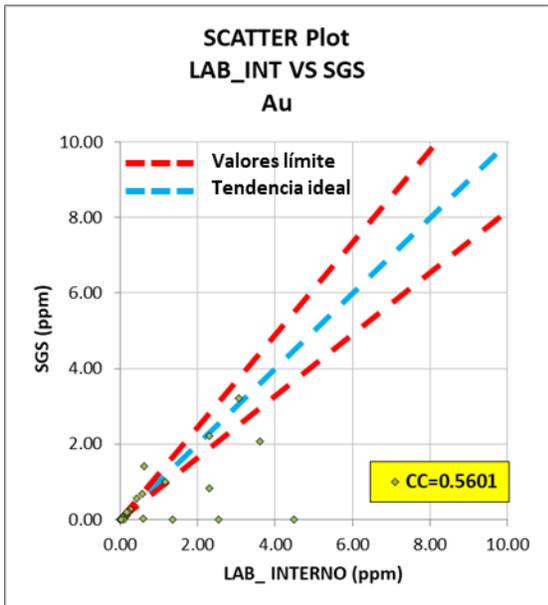


Gráfico 4.- Muestra blanca en 27 ensayos de oro; laboratorio interno vs externo. Se observa una pobre correlación entre los resultados de un laboratorio contra otro, evidenciada principalmente el HARD Plot donde más del 40% de las muestras tienen una variación mayor al 20%.

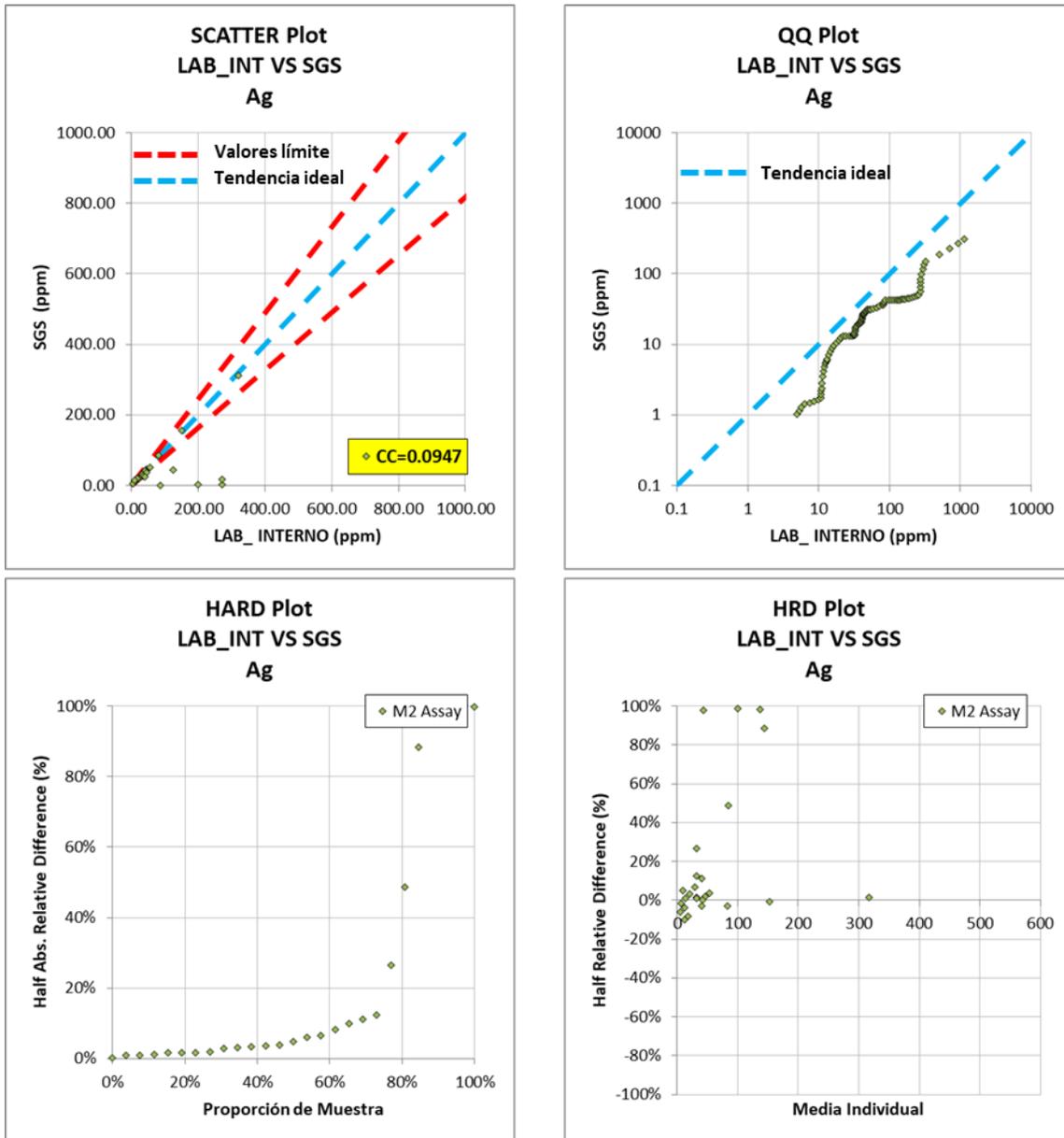


Gráfico 5.- Muestra blanca en 27 ensayos de plata; laboratorio interno vs externo. Al igual que los ensayos de Au se observa una pobre correlación entre los resultados de ambos laboratorios.

Los gráficos de dispersión (*Scatter Plot*) 4 y 5 proporcionan una guía visual de la relación entre laboratorio interno vs externo, comparando la diferencia dada una línea de tendencia en proporción uno a uno. La poca correlación para ambos metales expresada en los CC es coincidente con la dispersión de los valores respecto a la línea de tendencia ideal. Por su parte, los diagramas cuantil-cuantil (*QQ Plot*) de los gráficos

4 y 5 muestran gráficamente las diferentes varianzas de un laboratorio respecto a otro. Estos datos pueden ser un indicio de un mal tratamiento de las muestras de control; en una visita al laboratorio de la unidad se observó el tratamiento dado a las muestras enviadas por el departamento de geología, como resultado de esta se generó la hipótesis de que el personal de laboratorio identifica a simple vista las muestras blancas, por lo que estas no son analizadas bajo el mismo rigor que el resto. De los diagramas de Diferencias Relativas Absolutas (HARD) y los diagramas de Diferencias Relativas entre dos conjuntos de Datos (HRD Plot) expresados en los gráficos 4 y 5 se puede deducir que, a pesar de no haber mucho error entre uno y otro ensaye, aproximadamente un 20% tienen diferencias muy altas, lo que sugiere también que algunas muestras no son analizadas bajo los mismos controles de calidad, que existió contaminación en ensayos puntuales o que incluso dichas muestras fueron intercambiadas accidentalmente al momento de ser examinadas.

3.2.- Muestras repetidas en campo

Una vez recibidos los resultados de las muestras repetidas en campo se procedió a realizar un análisis estadístico con sus respectivas gráficas de correlación, con el objetivo de evaluar la precisión entre la muestra original y su repetida, también se evaluó la variación de los resultados entre ambos laboratorios. Se calculó la diferencia relativa y la diferencia relativa absoluta de los valores de oro y plata entre muestra original y repetida para laboratorio interno (gráficos 6 y 7) y externo (gráficos 8 y 9), y por último los resultados globales entre el laboratorio interno y externo (gráficos 10 y 11). A continuación se presentan los gráficos mencionados.

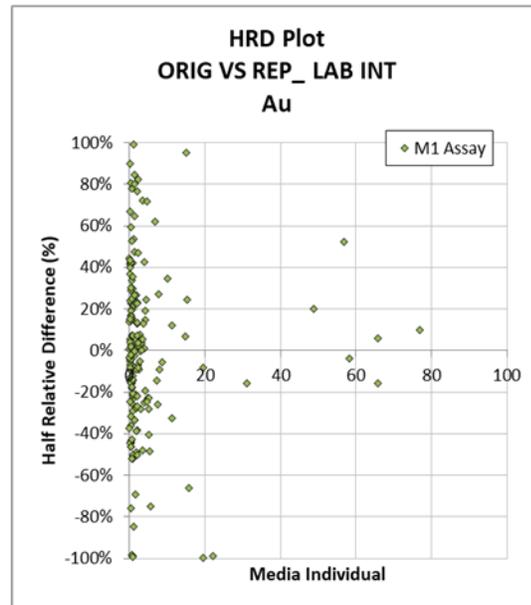
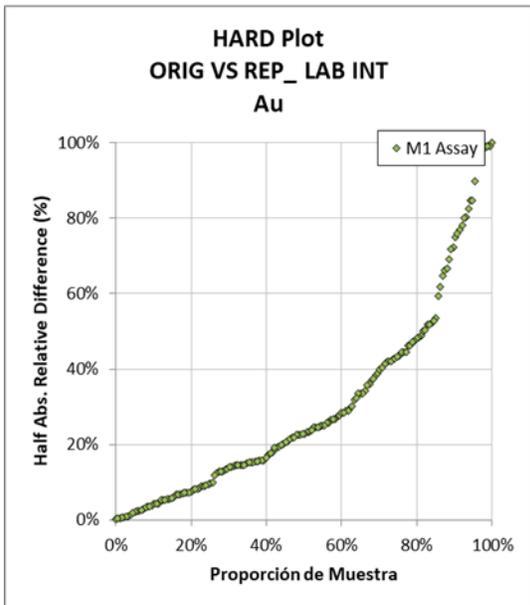
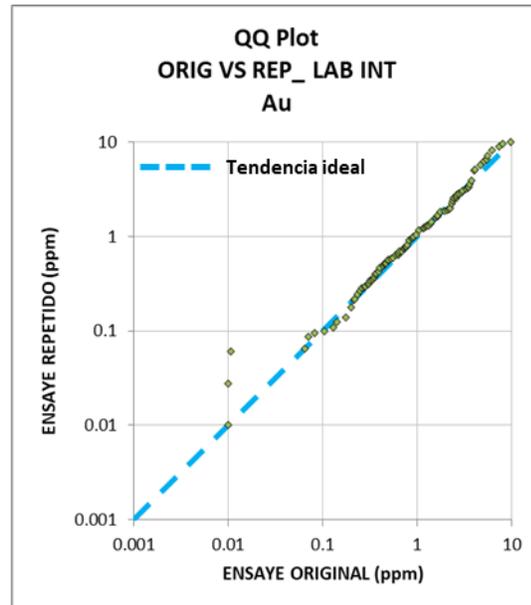
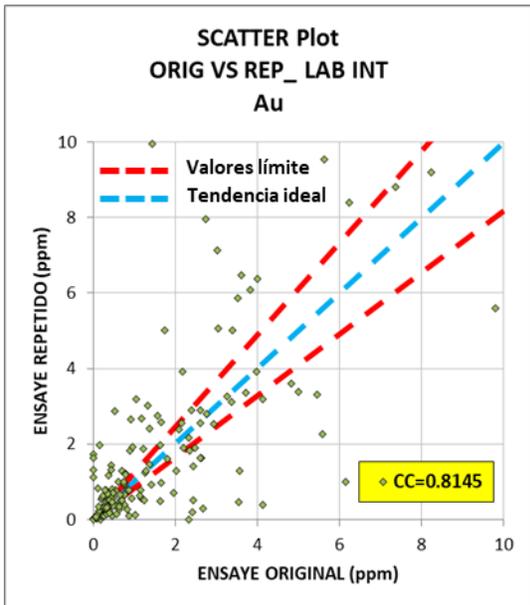


Gráfico 6.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en oro obtenido en el laboratorio interno. El HARD plot muestra que más del 60% de las muestras tiene una diferencia mayor al 20%, por otro lado, el HRD plot muestra que a menor ley (media individual) la diferencia relativa entre cada muestra es mayor.

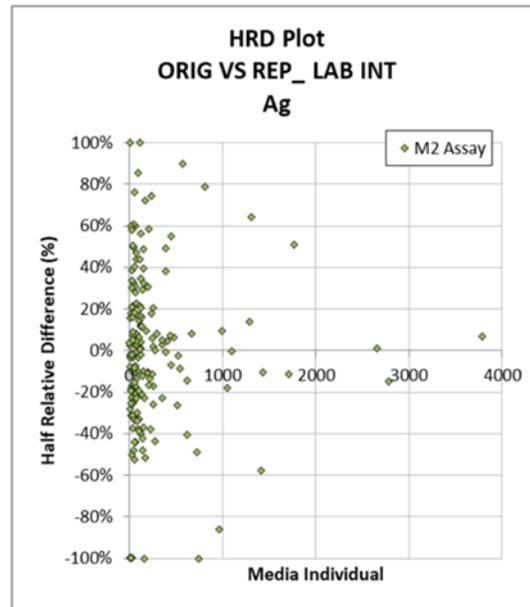
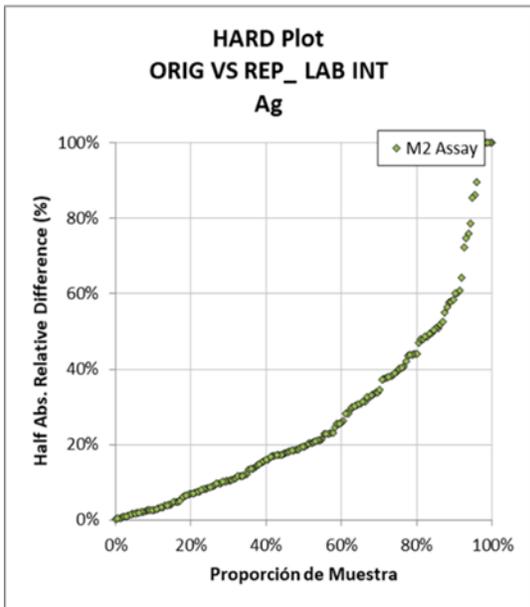
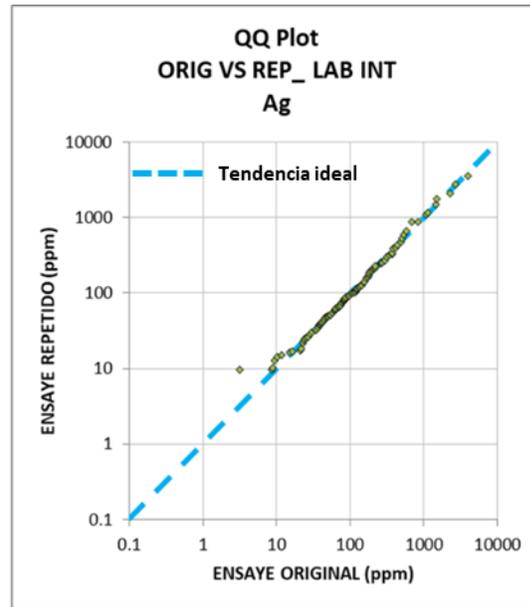
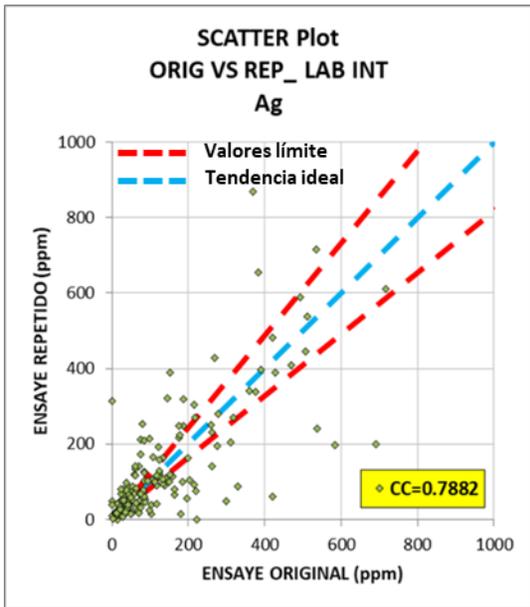


Gráfico 7.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en plata obtenidos del laboratorio interno. Casi el 60% de muestras presenta diferencias mayores al 20% y para leyes mayores a 2000 g/t (media individual) el porcentaje de error es menor al 20%

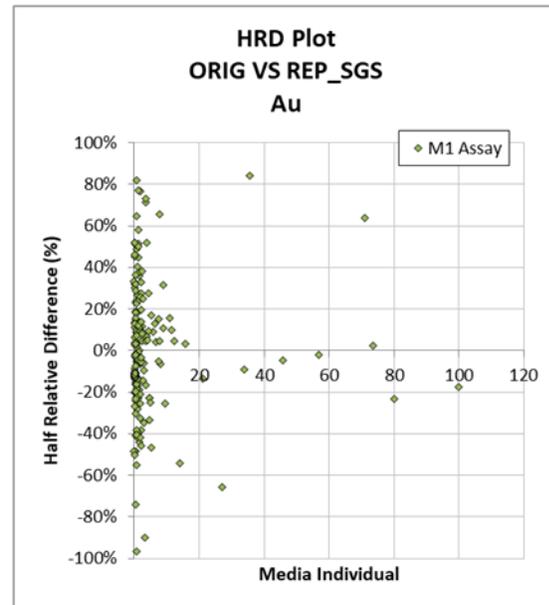
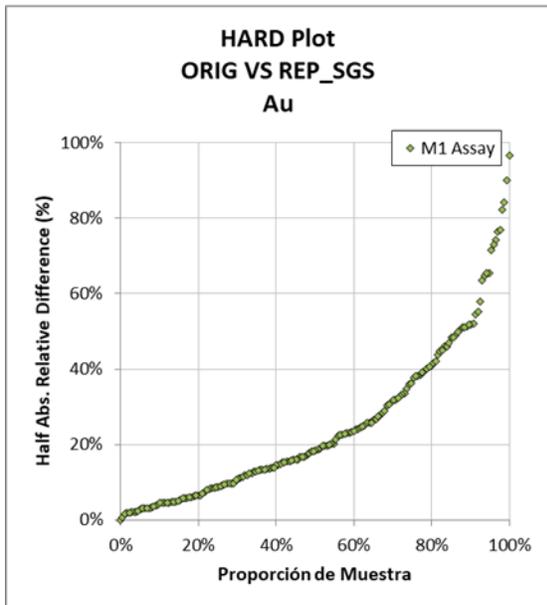
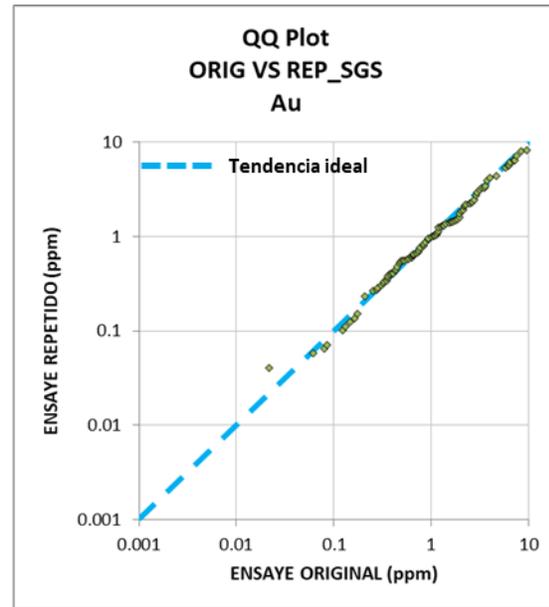
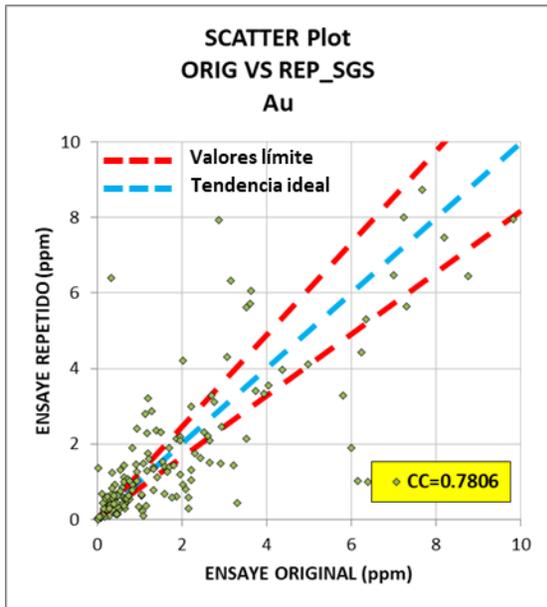


Gráfico 8.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en oro obtenidos del laboratorio externo. Los gráficos presentan comportamientos similares a los obtenidos con el laboratorio interno.

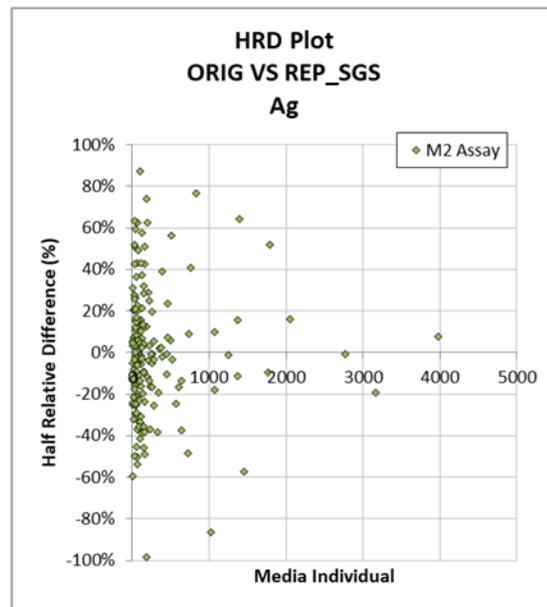
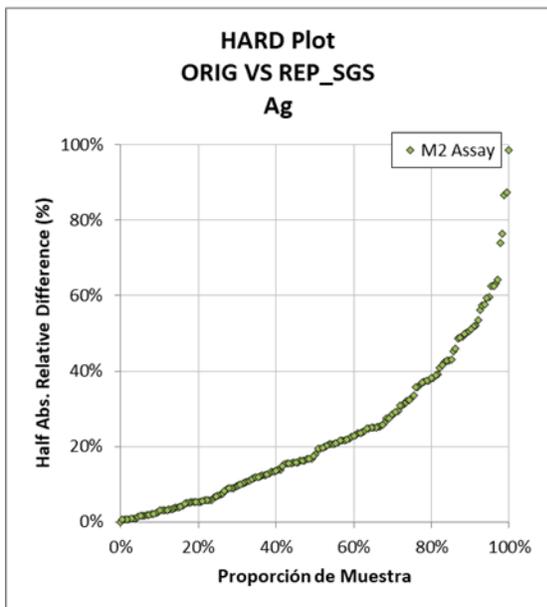
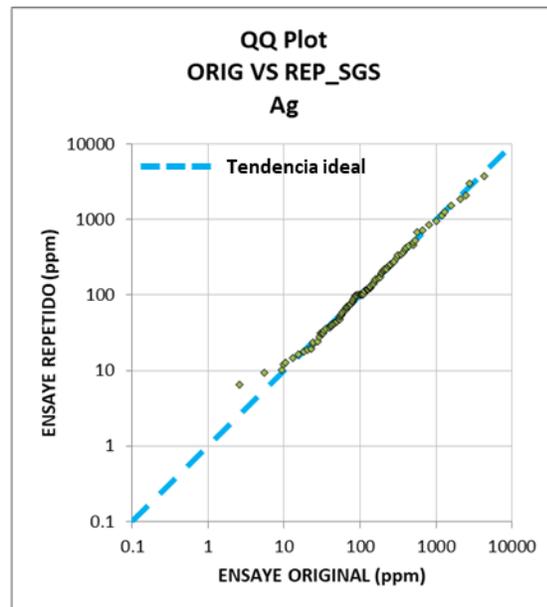
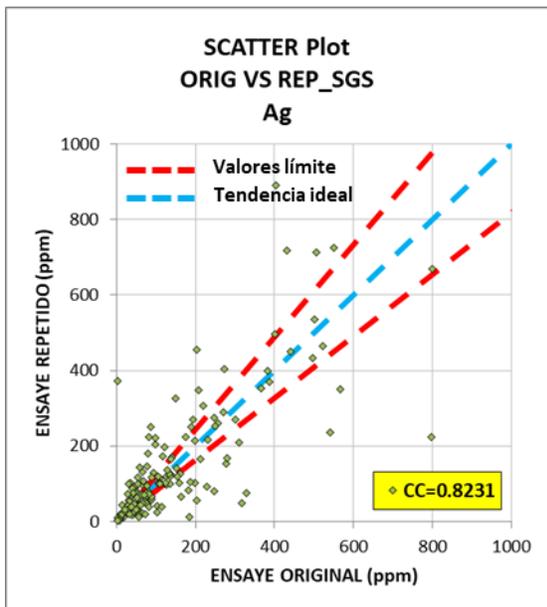


Gráfico 9.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en plata obtenidos en el laboratorio externo. Al igual que en el gráfico anterior, el comportamiento es similar al obtenido con los ensayos en el laboratorio interno.

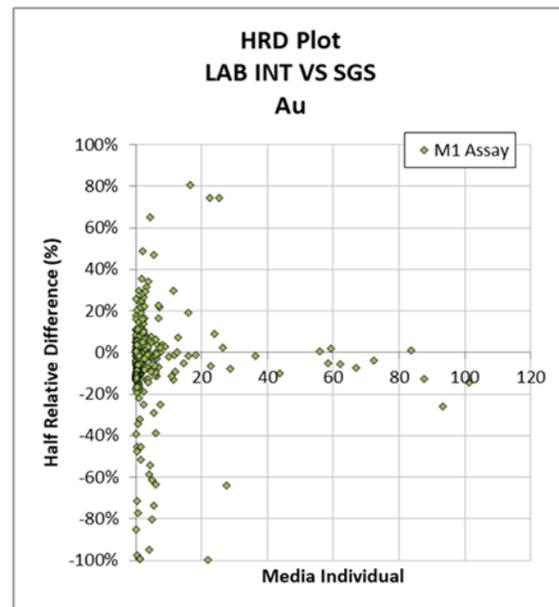
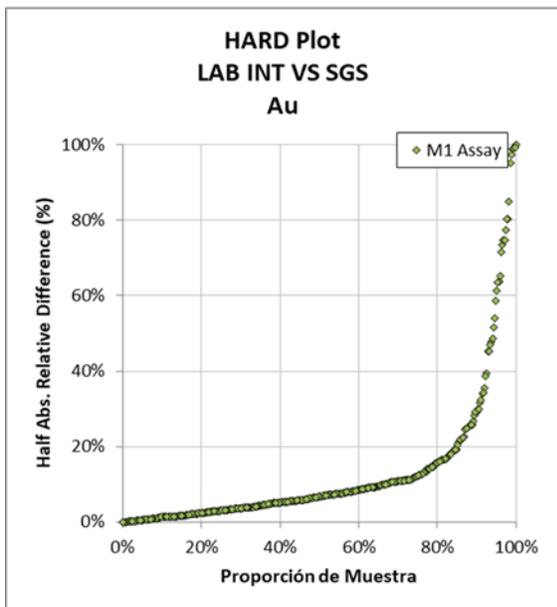
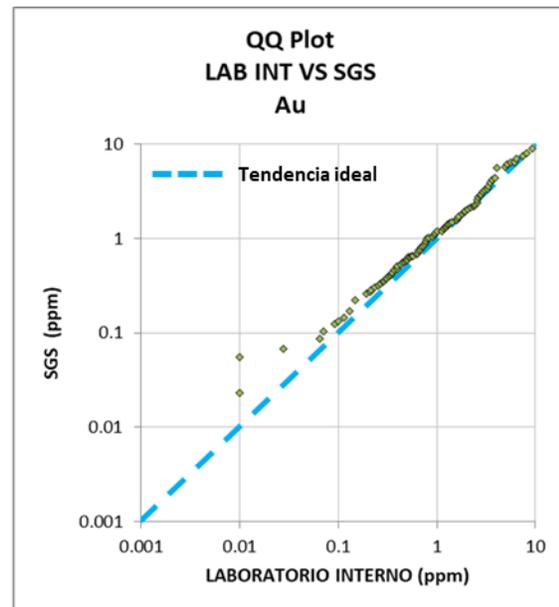
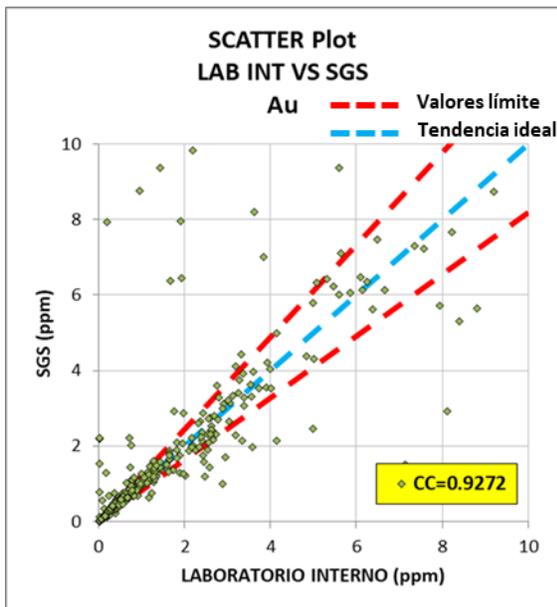


Gráfico 10.- Comparativa entre valores de oro reportados por los laboratorios interno y externo, aproximadamente el 18% de las muestras tienen una variación mayor al 20%.

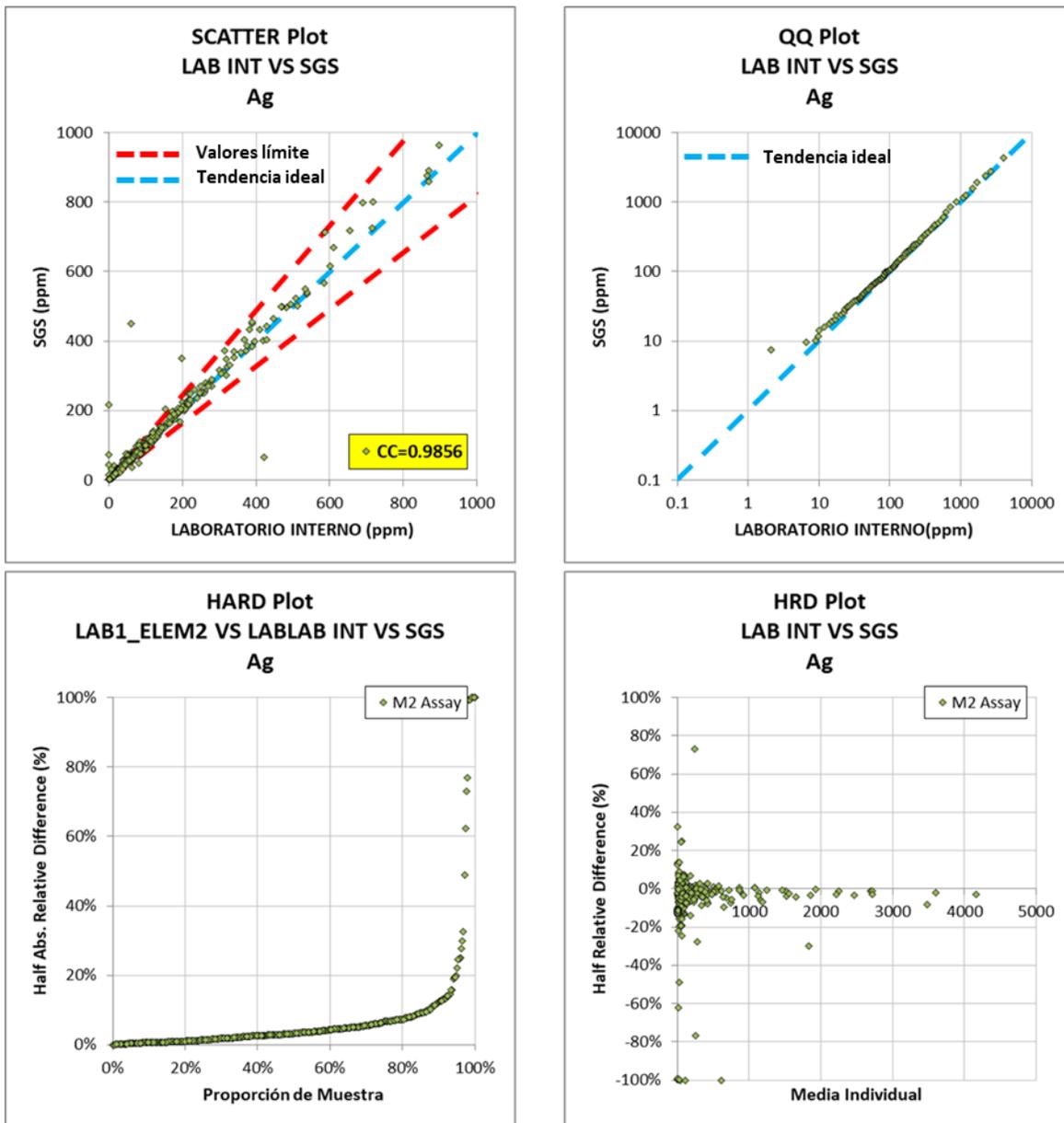


Gráfico 11.- Comparativa entre valores de plata reportados por los laboratorios interno y externo, menos del 10% de las muestras presentan una variación mayor al 20%.

Los diagramas anteriores presentan evidencia de una mala relación entre la muestra original y su repetida, más del 50% de las muestras tienen una variación de 20% o más en los elementos analizados, la tendencia es similar en los resultados reportados por ambos laboratorios. También se observa que las diferencias relativas entre uno y otro laboratorio son bajas y sus gráficos de dispersión (*scatter plot*) y Cuantil-Cuantil (*QQ plot*) muestran una muy buena correlación (gráficos 10 y 11).

Para el caso del oro, a pesar de tener una correlación aceptable se observa que la variación entre laboratorios es un poco mayor si se compara con la obtenida en la plata, esto podría derivarse del tipo de metodologías o procesos de cada uno de los laboratorios, pues mientras que el interno se enfoca más a los valores de plata, por sus necesidades operativas, el externo trabaja con múltiples elementos. Aún así, el autor de este trabajo considera que las actividades realizadas por el laboratorio interno son buenas.

Se confirma también que el proceso por el cual se obtiene la muestra repetida en campo no se está llevando a cabo de forma adecuada, por lo cual será necesario capacitar y concientizar al personal encargado sobre la importancia de realizar este proceso.

4.- Acciones posteriores al análisis de resultados

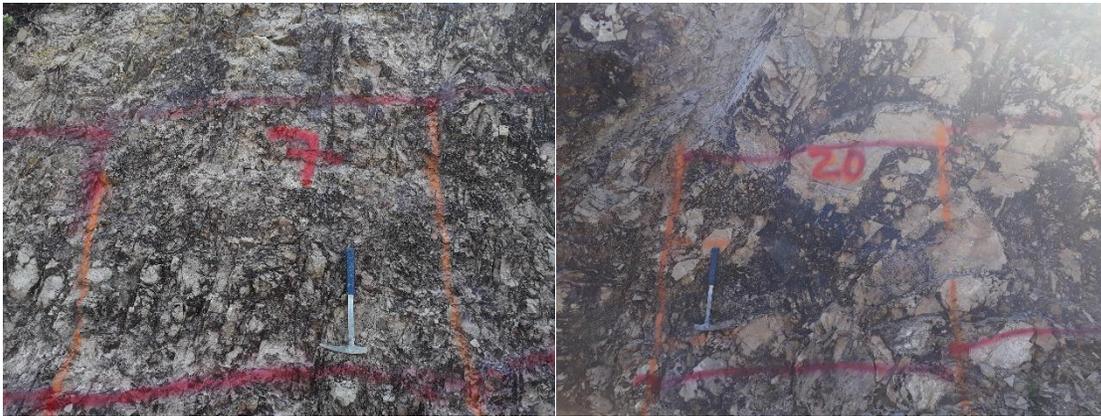
Como se mencionó en el análisis de los estándares blancos, se han presentado muestras con valores de oro y plata que resultan anómalos e incluso poco prácticos para la función que deben cumplir en el proceso de control de calidad, por lo que se tomó la decisión de prospectar y muestrear nuevos sitios para extraer este tipo de muestras, uno en interior mina y otro en superficie, además de muestrear el banco de material del cual se extraen dichas muestras y enviar todo recolectado al laboratorio.

El primer prospecto de banco se realizó en la vía San Julián – La Lagunita, en un sitio cercano a la desviación a las planillas de exploración en superficie, en este sitio se encuentra una zona de tobas de color amarillo en superficie meteorizada y cremoso en fresco, presenta cierta tendencia a formar planos de debilidad y la inclinación del talud es baja, facilitando así su extracción.

Para evaluar el potencial de esta zona se realizó un muestreo tipo “chip”, el cual consiste en definir un cuadrado con dimensiones específicas, limpiar la superficie a muestrear y posterior a ello coleccionar esquirlas de todo el cuadro. El muestreo en la zona se realizó en ventanas 1.5 m x 1.2 m (fotografía 5), que cubrió una longitud de 30 m a lo largo del talud que colinda con la vía terrestre. Una vez coleccionadas las muestras se elaboró el reporte correspondiente, el cual se almacenó junto con los reportes de los

muestreos de interior mina (figura 11), se etiquetaron las muestras y se capturó la información del reporte en la base de datos de interior mina para dar continuidad a la secuencia de etiquetas utilizadas.

Una vez que se recibieron los ensayos de laboratorio, los cuales reportaron resultados positivos, es decir, las muestras no contienen valores de Au y Ag (figura 12), se tomó la decisión de seguir utilizando este talud como banco e incluir las futuras recolecciones del sitio como control en muestras de la mina. Se dará un seguimiento a los resultados reportados por el laboratorio para monitorear la eficiencia de este banco de material.



Fotografía 5.- Muestreo tipo chip. Ventanas de 1.5m x 1.2m; para este tipo de muestreo se toman aproximadamente 3 kg de material en forma de esquirlas, estas deben ser representativas de la ventana delimitada.

Reporte de Muestreo

Fecha: 29 / JUL / 2018

Muestreros: DAVID AGUIRRE, MARTIN L.

DAMASO E. JUAN O.

Lugar: VEREDA HACIA LA LAGUNITA

Nivel: _____

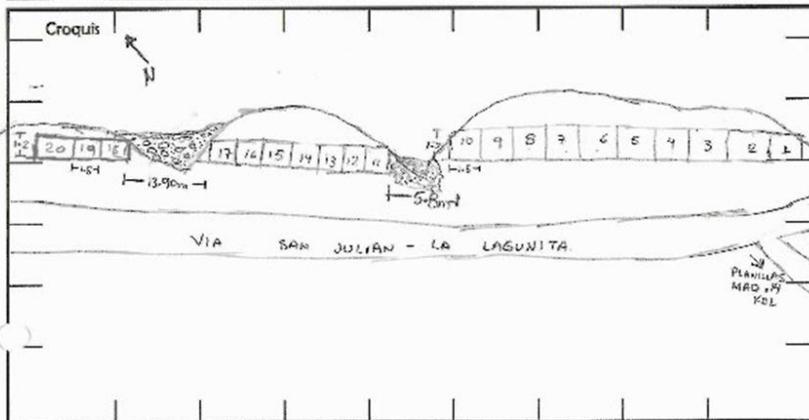
Observaciones:

Referencia

X: 1380353011 Y: 2882774 Z: 2810 → CHIP 1

CANAL/CIELO ESQUIRLA/TOPE BL REZAGA ESPECIAL
QA/QC

No. de Muestra	Línea	Ancho (m)	Tipo	No. de Muestra	Línea	Ancho (m)	Tipo
69041		1.5m	CHIP 1	69057		1.5m	CHIP 16
69042		1.5m	CHIP 2	69058		1.5m	CHIP 17
69043		1.5m	CHIP 3	69059		1.5m	CHIP 18
69044	BLANCA	BLANCA	BLANCA	69060		1.5m	CHIP 19
69045		1.5m	CHIP 4	69061		1.5m	CHIP 20
69046		1.5m	CHIP 5				
69047		1.5m	CHIP 6				
69048		1.5m	CHIP 7				
69049		1.5m	CHIP 8				
69050		1.5m	CHIP 9				
69051		1.5m	CHIP 10				
69052		1.5m	CHIP 11				
69053		1.5m	CHIP 12				
69054		1.5m	CHIP 13				
69055		1.5m	CHIP 14				
69056		1.5m	CHIP 15				



Departamento de Geología

Figura 11.- Reporte de muestreo en la vía La Lagunita – San Julián.

Lugar	Veta	Nivel	Frente	Tipo	No. Mues	No. Faj	Linea	Clasif.	Ancho	Laboratorio	Au	Ag
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.041	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.10	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.042	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.03	2
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.043	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.044	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.045	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.046	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.047	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.048	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.049	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.050	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.051	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.052	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.053	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.054	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.055	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.056	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.057	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.058	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.059	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.060	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0
LA LAGUNITA - SAN JULIAN				ESPECIAL	69.061	69.041		BLANCA	150	INTERNO	0.01	0

Figura 12.- Parte de la base de datos con el muestreo capturado y los resultados de laboratorio.

Se muestreó también el banco actual, ubicado en la vereda Las Papas – San Julián, muy cercano a otro socavón de la mina, el cual lleva el nombre de María Antonieta. En esta zona, la litología es la Ignimbrita Piedra Larga. La zona de extracción es un pequeño talud de aproximadamente 16 m de longitud, a sus alrededores se encuentran algunos depósitos de arrastre recientes y hacia la parte superior bloques rodados de varios metros que representan una condición de riesgo al momento de realizar el muestreo.

Se realizó un muestreo tipo chip (fotografía 6), con ventanas de 2 m x 1 m, cubriendo una longitud de 14 m lineales sobre la orilla del camino. Se generó el reporte correspondiente (figura 13) y al igual que el primer banco prospectado los resultados de laboratorio fueron favorables. Con los resultados reportados se genera la hipótesis de que la recolección del material no se está llevando a cabo en el talud, sino del material fino producto del arrastre que se encuentra a los alrededores, pues a pesar de que la roca es deleznable y fácil de romper, la muestra blanca que se estaba utilizando como control en su mayoría es material triturado y pulverizado, lo cual también podría facilitar al personal de laboratorio su identificación.



Fotografía 6.- Muestreo en la zona de María Antonieta

Reporte de Muestreo

Fecha: 30 / Jul / 2018

Muestreos: DAVID A. MARTÍN L.
DAMIÁN E. JUAN O.

Lugar: BANCO DE BLANCOS MA. ANTO.

Nivel:

Observaciones:

Referencia:

KHP1: 1320847390, 2875907, 2390m

BANCO ACTUAL DE BLANCOS QA/QC

CERCAO AL SOCAYÓN MARÍA ANTONIETA

VEREDA SAN JULIÁN - LAS PAPAS

CANAL/CIELO ESQUIRRA/TOPE BL REZACA ESPECIAL en/QC

No. de Muestra	Línea	Ancho (m)	Tipo	No. de Muestra	Línea	Ancho (m)	Tipo
69113		2m	CHIP 1				
69114		2m	CHIP 2				
69115		2m	CHIP 3				
69116		2m	CHIP 4				
69117		2m	CHIP 5				
69118		2m	CHIP 6				
69119		2m	CHIP 7				

Croquis

N →

VIA LAS PAPAS - SAN JULIÁN

Departamento de Geología

Figura 13.- Reporte de muestreo en la zona de María Antonieta.

El segundo banco prospectado se encuentra en el interior de la mina, en el acceso 4 San Julián 2440 “Rampa Cárdenas” (fotografía 7) donde la litología presente es toba riolítica de cristales. Se tomó la decisión de utilizar esta zona debido a que es de fácil acceso, el nivel no se explotará por cuestiones operativas y por ende un gran número de condiciones de riesgo como tráfico de vehículos, caída de roca, engasamiento, entre otras relacionados con la explotación de un nivel mineral estarían ausentes en la zona; además de que las rampas de acarreo mineral de otros sitios se realiza varios metros arriba, lo que evita la acumulación de polvo, aunque en caso de habilitar este banco será conveniente realizar lavado de las tablas de la obra periódicamente. El muestreo en esta zona fue de esquirlas tomadas en las tablas izquierda y derecha cada 2 m, se marcó un inicio y un final de la zona de interés, que abarcó aproximadamente 60 m de longitud por cada tabla. Como en los dos anteriores muestreos, se elaboró el reporte correspondiente (figura 14) y las muestras se enviaron a laboratorio; hasta la finalización del proyecto no se cuenta aún con los resultados.



Fotografía 7.- Rampa del acceso 4 SJ 2440. En la fotografía izquierda se observa la longitud del acceso y en la derecha el espaciamiento indicado para las muestras recolectadas en la zona.

laboratorio externo. Las muestras de control sobre las que se trabajó en este corte fueron las siguientes:

- Muestras blancas: **288**
- Muestras repetidas de campo: **684** (342 pares, de los cuales únicamente tres de ellos son del yacimiento JM, el resto se distribuyen en el área de vetas.)

Al tiempo de finalización del programa de residencias, se logró realizar el envío de las muestras seleccionadas, sin embargo, por el tiempo de respuesta del laboratorio externo los resultados de dichos ensayos no se incluyen en este trabajo.

5.1.- Criterios de selección de muestras para tercerías

5.1.1.- Blancas

Para esta selección se evaluaron las 288 muestras que se usaron de control en toda la población, se realizó la separación entre las que se enviaron para el yacimiento JM de las del área de vetas. En un archivo de Excel se generó la estadística descriptiva y las gráficas de control de estándares. Es importante mencionar que sólo se realizó la estadística de Au y Ag por ser los elementos de mayor interés. La tabla 6 y gráfica 12 presentan los resultados obtenidos para el área de vetas, mientras que la tabla 7 y gráfica 13 corresponden al yacimiento JM.

Parámetro	Au (ppm)	Parámetro	Ag (ppm)
Media	0.10206766	Media	8.0966084
Error típico	0.0192381	Error típico	1.33589387
Mediana	0.01083564	Mediana	0.08398412
Moda	0.01	Moda	0.01
Desviación estándar	0.2176543	Desviación estándar	15.1139138
Varianza	0.0473734	Varianza	228.430392
Curtosis	39.7753366	Curtosis	6.25647331
Coefficiente de asimetría	5.43781684	Coefficiente de asimetría	2.53421587
Rango	1.91456063	Rango	75.66
Mínimo	0.01	Mínimo	0.01
Máximo	1.92456063	Máximo	75.67
Suma	13.0646602	Suma	1036.36587
Cuenta	128	Cuenta	128
Nivel de confianza (95.0%)	0.03806874	Nivel de confianza (95.0%)	2.64349289

Tabla 6.- Estadística descriptiva para blancas correspondiente al área de las vetas. Nuevamente se observa que, debido a las anomalías en las muestras, el valor máximo se eleva a 1.92 g/t en oro y 75 g/t en plata, valores que no cumplen con la función de una muestra blanca.

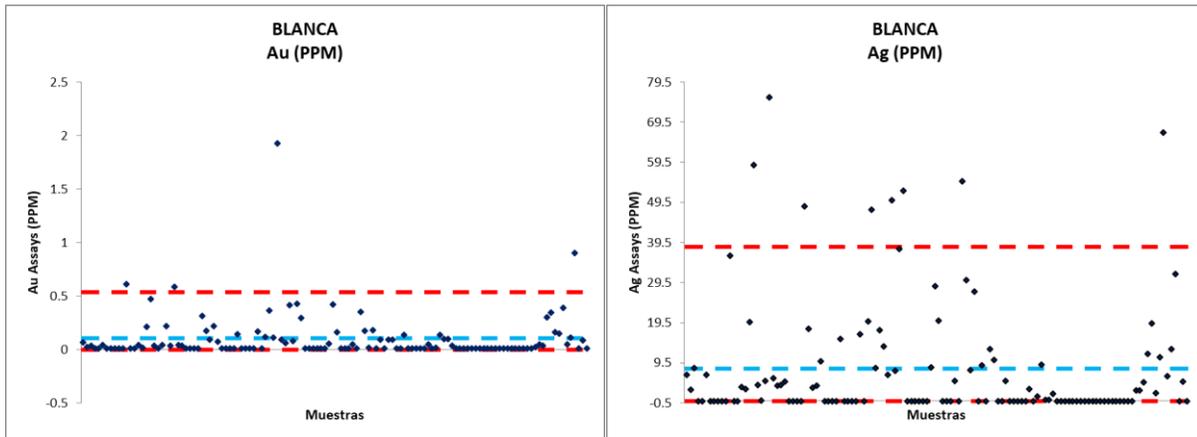


Gráfico 12.- Carta de control de estándares del área de vetas. Las líneas rojas corresponden al nivel máximo y mínimo, mientras que la línea azul indica la media. Se distinguen algunas anomalías que será conveniente volver a ensayar en otro laboratorio.

Parámetro	Au (ppm)	Parámetro	Ag (ppm)
Media	0.022764714	Media	33.23394695
Error típico	0.004772384	Error típico	12.39894303
Mediana	0.01	Mediana	0.01
Moda	0.01	Moda	0.01
Desviación estándar	0.047723842	Desviación estándar	123.9894303
Varianza	0.002277565	Varianza	15373.37883
Curtosis	22.26790017	Curtosis	23.5112564
Coefficiente de asimetría	4.555940544	Coefficiente de asimetría	4.731831706
Rango	0.32184753	Rango	801.3397754
Mínimo	0	Mínimo	0.01
Máximo	0.32184753	Máximo	801.3497754
Suma	2.276471439	Suma	3323.394695
Cuenta	100	Cuenta	100
Nivel de confianza (95.0%)	0.009469446	Nivel de confianza (95.0%)	24.60219295

Tabla 7.- Estadística descriptiva para blancas. Área JM.

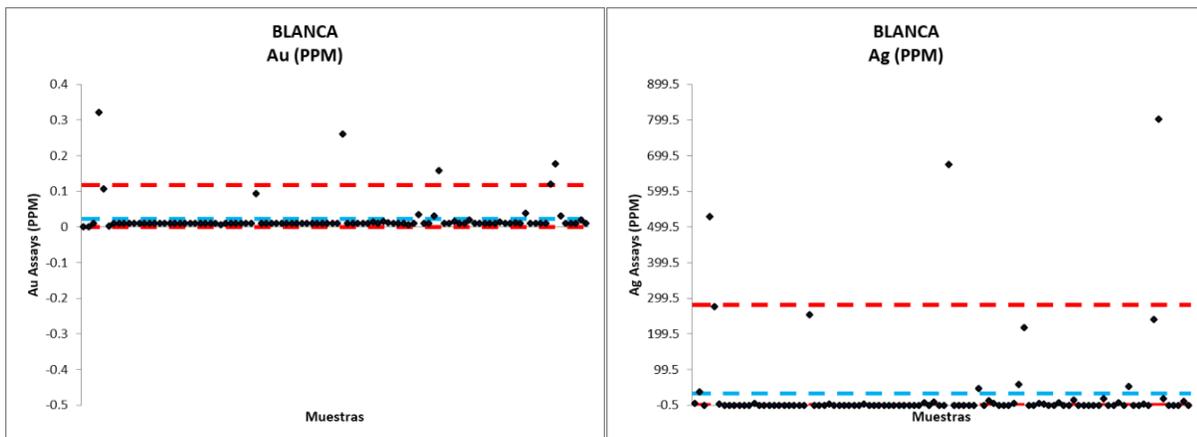


Gráfico 13.- Carta de control de estándares. Área JM. Las líneas rojas corresponden al nivel máximo y mínimo, mientras que la línea azul indica la media.

Los resultados de la estadística y los gráficos muestran que la mayor parte de las muestras blancas se encuentran en intervalos aceptables, con excepción de algunas anomalías las cuales es recomendable re-ensayar en un laboratorio certificado para evaluar la dispersión entre un laboratorio y otro.

Para seleccionar las muestras a enviar se realizó la normalización (*capping*) (tablas 8-9), el cual consiste en obtener la media de los datos y sumar a la misma una y dos veces su desviación estándar, las normalizaciones obtenidas se promedian y el resultado se tomará como el límite superior a partir del cual los datos que estén fuera de las mismas se considerarán como anomalías, además, el histograma de frecuencias proporcionará una herramienta visual que ayudará a ubicar el valor obtenido mediante este proceso. Con esto se busca definir estadísticamente los valores atípicos de las muestras blancas que deberán ser reensayadas en el laboratorio externo. Los gráficos y tablas que a continuación se presentan corresponden al área de vetas (gráficos14-15) y JM (gráficos 16-17) respectivamente.

Normalización (Capping)			
<i>Normalización = PROMEDIO Media + 1 o 2 (Desviación Estándar)</i>			
Au		Ag	
<i>Media</i>	0.10	<i>Media</i>	8.10
<i>Desviación estándar</i>	0.22	<i>Desviación estándar</i>	15.11
<i>CAPPING</i>	0.32	<i>CAPPING</i>	23
<i>CAPPING</i>	0.54	<i>CAPPING</i>	38
<i>Prom. Capping</i>	0.43	<i>Prom. Capping</i>	31

Tabla 8.- Normalización (Capping) para oro y plata. Área Vetas

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	0	0.00%
0.02	69	53.91%
0.04	7	59.38%
0.06	10	67.19%
0.08	3	69.53%
0.1	8	75.78%
0.12	3	78.13%
0.14	2	79.69%
0.16	3	82.03%
0.18	4	85.16%
0.2	1	85.94%
0.22	2	87.50%
0.24	1	88.28%
0.26	0	88.28%
0.28	0	88.28%
0.3	1	89.06%
Y mayor...	14	100.00%

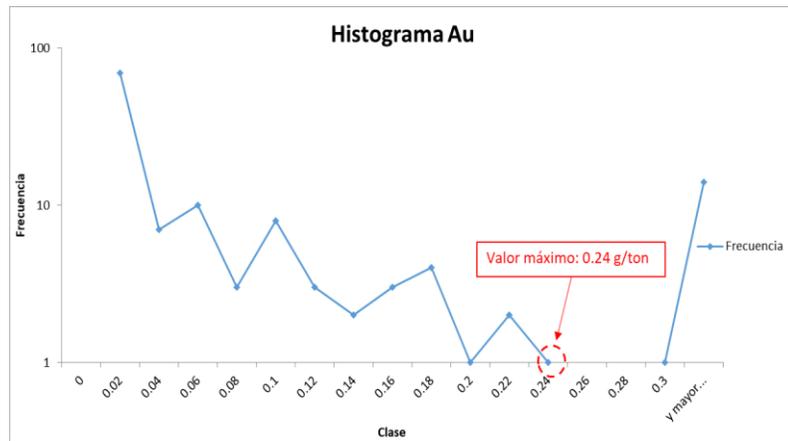


Gráfico 14.- Histograma Au. Área Vetas

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	0	0.00%
3	74	57.81%
6	14	68.75%
9	10	76.56%
12	5	80.47%
15	3	82.81%
18	4	85.94%
21	4	89.06%
24	0	89.06%
27	0	89.06%
30	2	90.63%
33	2	92.19%
36	0	92.19%
39	2	93.75%
42	0	93.75%
45	0	93.75%
Y mayor...	8	100.00%

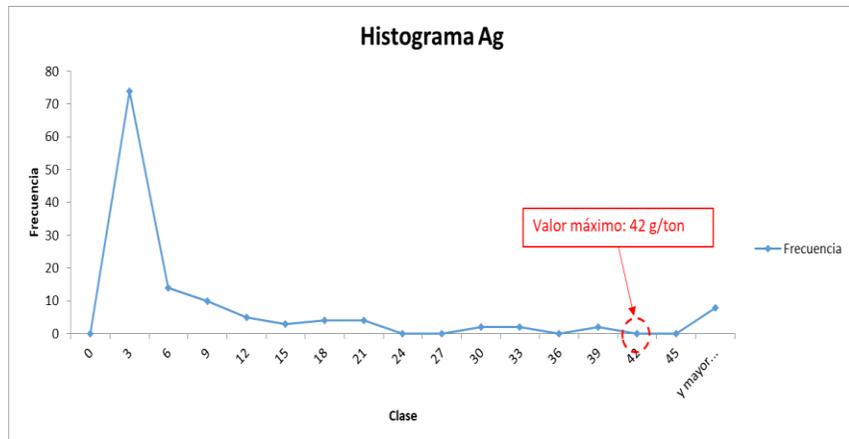


Gráfico 15.- Histograma Ag. Área Vetas

Normalización (Capping)
Normalización = PROMEDIO Media + 1 o 2 (Desviación Estándar)

Au		Ag	
Media	0.02	Media	33.23
Desviación estándar	0.05	Desviación estándar	123.99
CAPPING	0.07	CAPPING	157
CAPPING	0.12	CAPPING	281
Prom. Capping	0.09	Prom. Capping	219

Tabla 9.- Normalización (Capping) para oro y plata. Zona JM

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	2	2.00%
0.01	77	79.00%
0.02	10	89.00%
0.03	0	89.00%
0.04	4	93.00%
0.05	0	93.00%
0.06	0	93.00%
0.07	0	93.00%
0.08	0	93.00%
0.09	0	93.00%
0.1	1	94.00%
0.11	1	95.00%
0.12	0	95.00%
0.13	1	96.00%
0.14	0	96.00%
y mayor...	4	100.00%

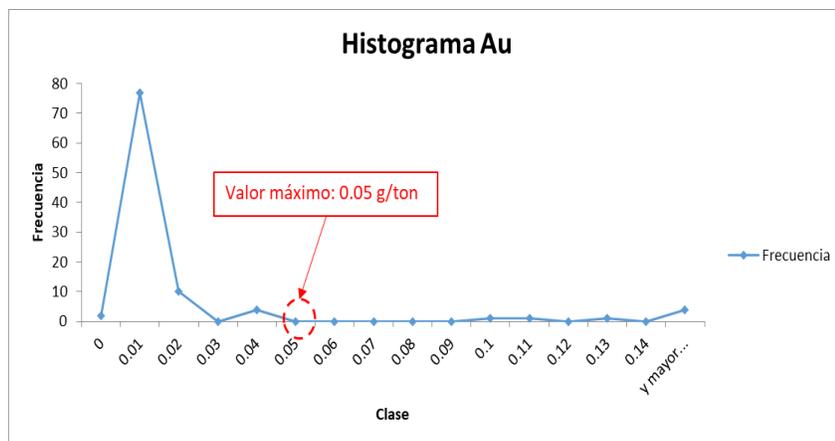


Gráfico 16.- Histograma Au. Área JM

Clase	Frecuencia	% acumulado
0	0	0.00%
10	85	85.00%
20	4	89.00%
30	0	89.00%
40	1	90.00%
50	1	91.00%
60	2	93.00%
70	0	93.00%
80	0	93.00%
90	0	93.00%
100	0	93.00%
110	0	93.00%
120	0	93.00%
130	0	93.00%
140	0	93.00%
150	0	93.00%
160	0	93.00%
170	0	93.00%
180	0	93.00%
190	0	93.00%
200	0	93.00%
Y mayor...	7	100.00%

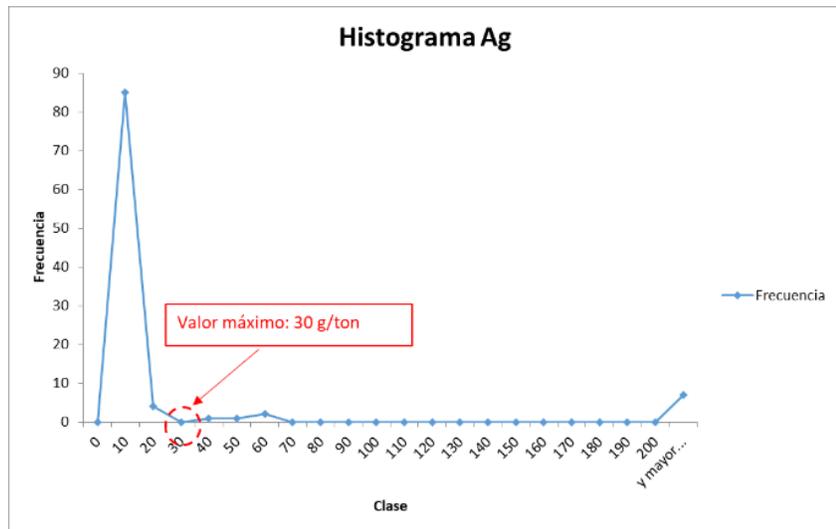


Gráfico 17.- Histograma Ag. Área JM

Con ayuda del procedimiento estadístico realizado se determinó que se considerarán como anomalías de blancas y deberán ser enviadas al laboratorio externo las muestras cuyos valores excedan:

- Área de vetas: **0.24g/t Au y 42g/t Ag** (18 muestras)
- Área JM: **0.05g/t Au y 30g/t Ag** (13 muestras)

Resultando 31 muestras blancas para tercerías.

5.1.2.- Muestras repetidas en campo

Se seleccionaron de la base de datos las 684 muestras que se utilizaron para control, se identificaron las pertenecientes a vetas y JM que resultaron con una proporción de 99.12% (678 muestras) para vetas y 0.88% (6 muestras) para JM, es por ello que solo se realizaron los diagramas de Au y Ag en los cuales se incluyen las muestras del cuerpo JM pues solo se evaluó la variación de los ensayos uno respecto al otro, independientemente del tipo de yacimiento.

En un archivo de Excel se separó de la numeración consecutiva la original de su repetida y se obtuvieron sus diferencias relativas absolutas, también se realizaron los

diagramas de Dispersión (*Scatter*), Cuantil-Cuantil (*QQ*), de Diferencias relativas Absolutas (*HARD*) y Diferencias Relativas entre dos conjuntos de datos (*HRD*) (gráficos 18-19) para evaluar la dispersión entre cada ensaye, que arrojaron los siguientes resultados.

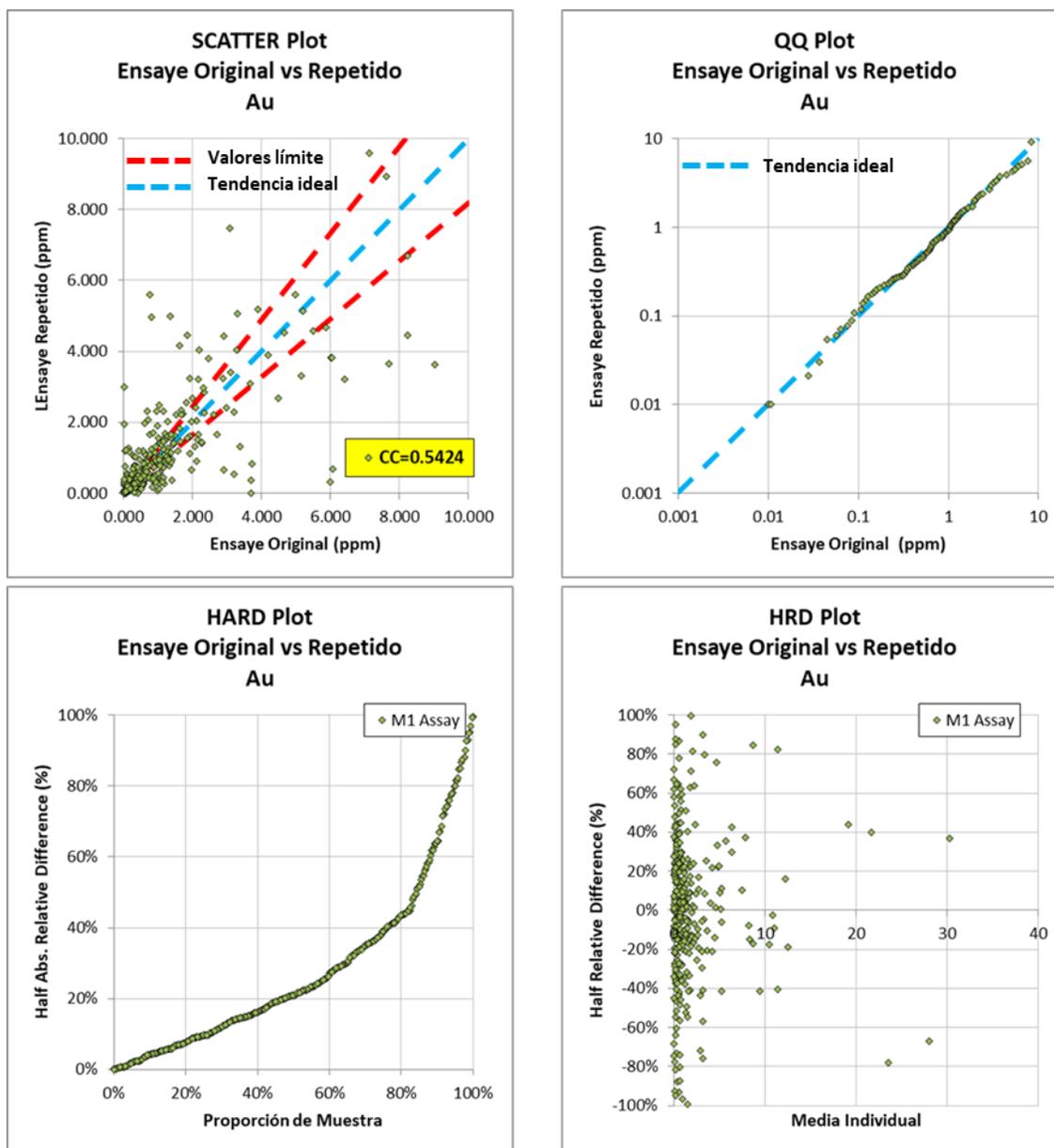


Gráfico 18.- Comparativa entre ensaye original y repetido para oro en el laboratorio interno. Aproximadamente el 60% de las muestras tienen una diferencia mayor al 20%.

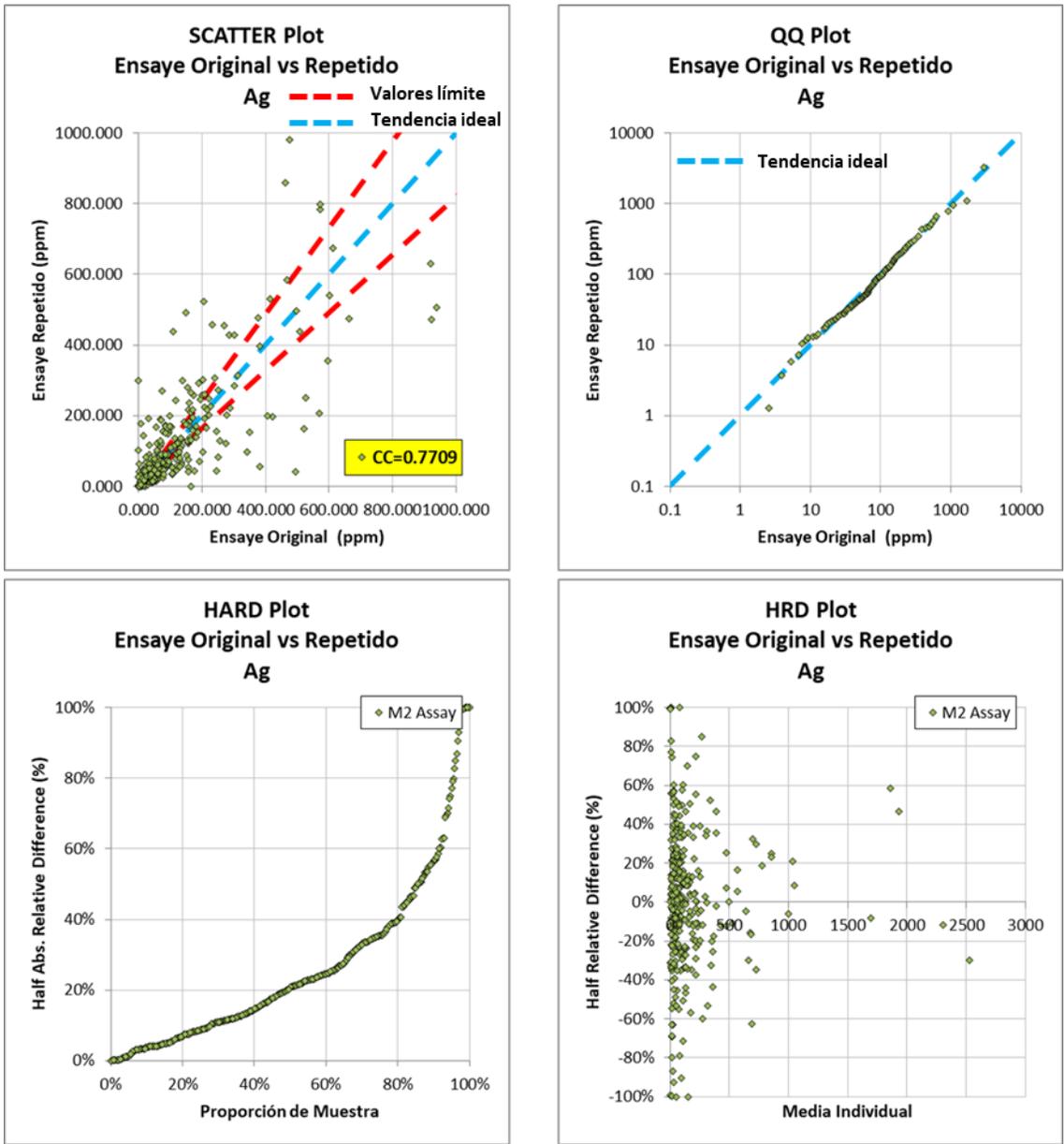


Gráfico 19.- Comparativa entre ensayo original y repetido para plata en laboratorio interno, aproximadamente 50% de los datos tienen una variación mayor al 20%.

Los gráficos presentan evidencia de una mala relación entre la muestra original y su repetida, aproximadamente 60% de las muestras tienen una variación de 20% o más en oro y plata, tendencia que se manifestó en las muestras que se analizaron en el primer corte a la base de datos.

Para seleccionar las muestras que se re-ensayarán en laboratorio externo se aplicó un filtro a las diferencias relativas absolutas, donde aquellas cuyos ensayos varíen más

de 30% en oro y plata se consideraran para realizarles su reensaye en laboratorio externo, con esto se pretende determinar si el error expresado en los gráficos es consecuencia del muestreo (como en el primer corte) o del laboratorio.

Como complemento al criterio anterior, se graficaron nuevamente las muestras repetidas, pero omitiendo los pares repetidos que presentan la variación descrita. Los gráficos 20 y 21 muestran que la correlación es mayor, donde solamente el 20% de los datos tienen una variación mayor al 20%.

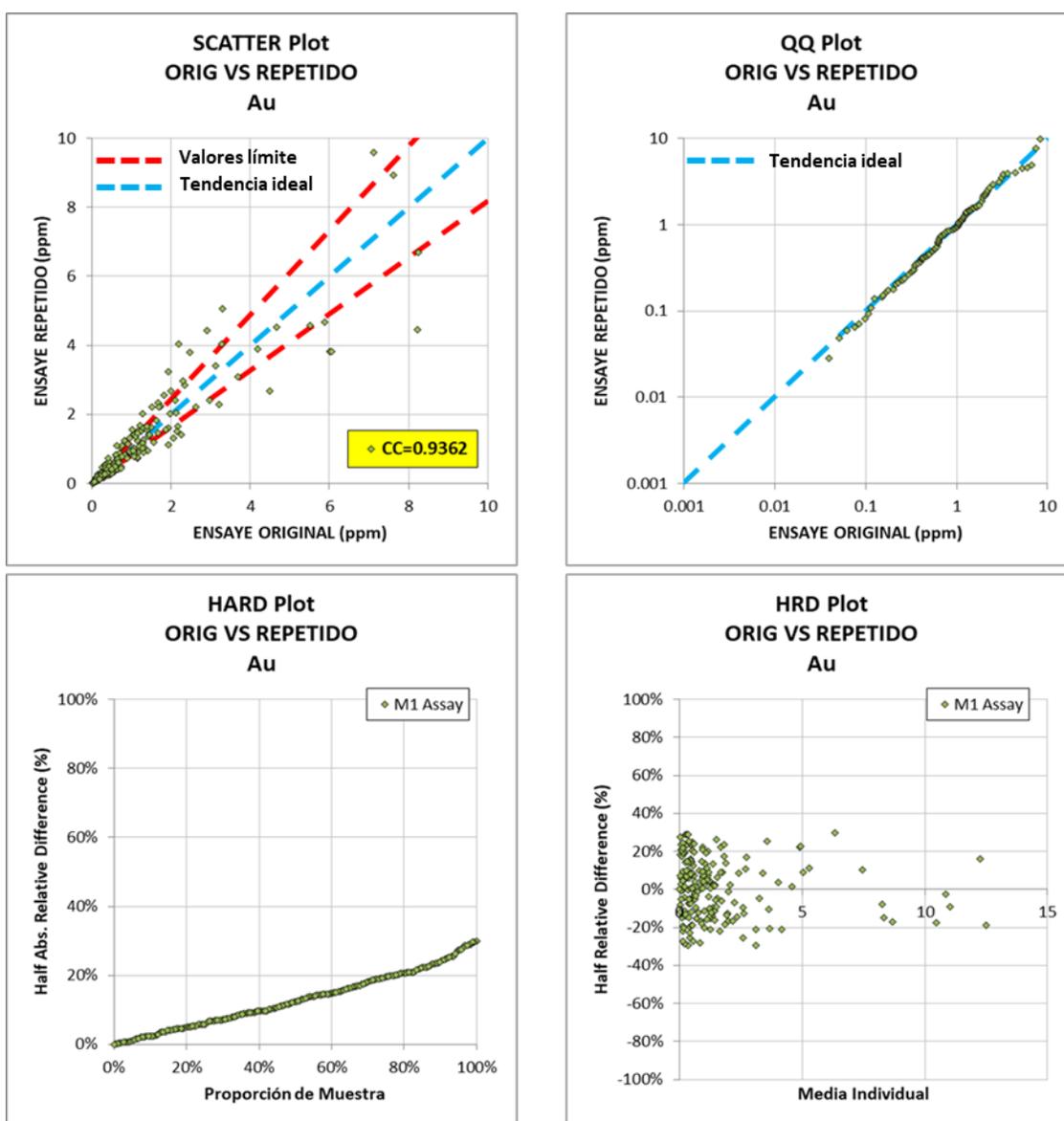


Gráfico 20.- Comparativa entre ensaye original y repetido para oro sin ensayos con variación >30%.

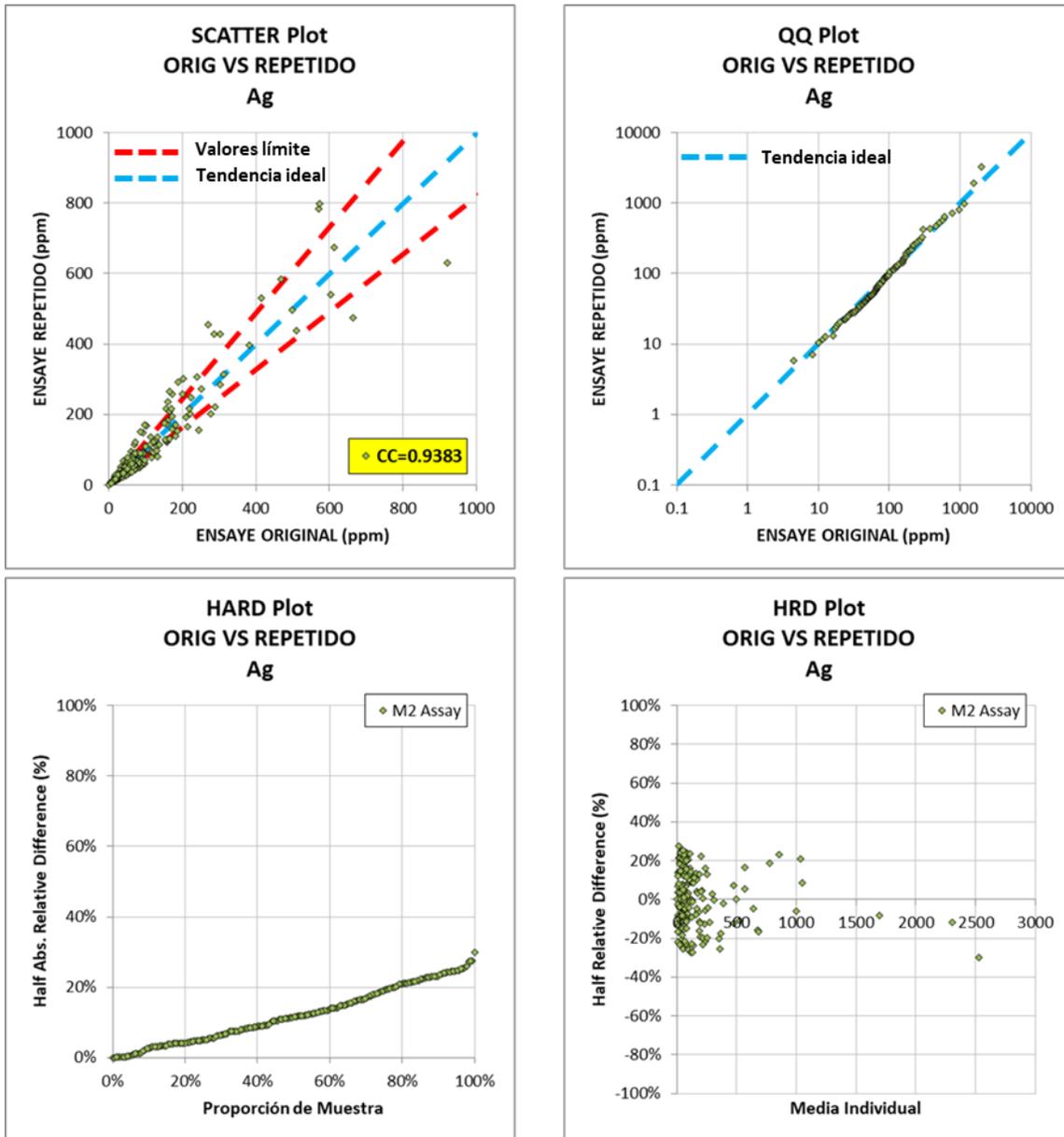


Gráfico 21.- Comparativa entre ensaye original y repetido para plata sin ensayes con variación >30%

Los diagramas muestran una mayor correlación de los ensayes que fueron seleccionados con el filtro, y las diferencias relativas expresadas en los Diagramas de Diferencias Relativas Absolutas (HARD) y de Diferencias relativas entre dos Conjuntos de Datos (HRD) plot resultan con valores más bajos (máximo 30%).

Con el filtro aplicado a los ensayos con errores resultaron seleccionadas **304 muestras** (152 pares), lo que representa el **44%** de la totalidad de muestras repetidas que se seleccionaron en el segundo corte de la base de datos.

Con esta nueva forma de seleccionar pares repetidos para su envío a reensayo se logró una mejora en tiempo y costo, ya que sin el filtro aplicado se hubiesen enviado a reensayar las 684 muestras, y con el criterio propuesto únicamente se enviaron las 304 mencionadas anteriormente, generando así un ahorro aproximado de **\$170,647 MXN** si se considera un costo unitario de análisis de \$449.00 MXN.

Con el segundo corte a la base de datos se seleccionaron para re-ensayo **335 muestras** que incluyen blancos y pares repetidos, esto representa el **7.6%** de la población analizada.

Si se realiza una comparativa entre el primero y segundo corte se observa que se logró reducir un **12.4%** la cantidad de muestras enviadas a laboratorio externo, aún con una población más grande en el segundo corte, esto se traduce en menores costos para el departamento de geología, una selección más rápida, menores tiempos de respuesta de laboratorio y por último, un procedimiento establecido para seleccionar las muestras que en verdad requieren ser analizadas.

II.- Herramientas para la toma de decisiones

a) Teóricas

Para la toma de decisiones fue necesaria la compilación de todos los resultados de los muestreos reportados y posteriormente capturados en la base de datos, para ello durante las primeras semanas se realizó la captura de los reportes diarios en la misma lo que facilitó el trabajo posterior, pues una vez dominada esta herramienta es relativamente rápido realizar los filtros que separan cada muestra de control. La geología local y las características metalogénicas de cada una de las áreas también fueron de gran importancia para tener el conocimiento del grado y distribución de la ley económica.

Las visitas a las áreas de interés para el proyecto como el laboratorio y la oficina de exploración en superficie ampliaron el panorama de las acciones que se debían realizar para mejorar el proyecto, y proporcionaron información teórica sobre algunos aspectos no relacionados a la parte estadística del QA/QC.

El conocimiento de los conceptos que engloba el aseguramiento y control de calidad aplicados a la minería fueron fundamentales para entender su importancia en dicha industria, así mismo fue complementado con la comprensión de cada uno de los parámetros estadísticos que aportan el análisis de los datos recopilados.

b) Estadísticas

Durante gran parte del proyecto se manejaron herramientas de la estadística descriptiva, entre las más importantes el autor de este trabajo considera la media y desviación estándar, mismas que fueron mencionadas en el apartado del *seguimiento de las muestras QA/QC*. El entendimiento de cada uno de estos parámetros permitió realizar los gráficos que muestran de forma más clara los resultados, así mismo, el poder modificar a conveniencia alguna de estas gráficas permitió realizar mejoras al proceso de selección de muestras para tercerías.

También es importante mencionar el uso de herramientas como la paquetería de Office, pues en el desarrollo del proyecto se fueron adquiriendo habilidades y conocimientos para su uso que pueden ser aplicadas a distintos procesos dentro de la minería.

Un poco fuera del proyecto, pero no menos relevante, fue la experiencia al manejar distintos tipos de software como AutoCAD para la digitalización de mapeo geológico, DataMine para observar en 3D las obras mineras y estructuras geológicas importantes, y Fussion para la descripción y captura del logueo geológico; estos softwares actualmente resultan imprescindibles en la actividad geológica-minera y a consideración personal, pueden desarrollarse herramientas entre algunos de estos que potencialicen los beneficios esperados para el control de calidad de la información.

IV.- Cierre de proyecto

a) Control y seguimiento

Este proyecto cuenta con algunas áreas de oportunidad, que a pesar de no poderse llevar a cabo al 100% por el corto tiempo de residencia tienen ahora ya propuestas que marcaron las bases para una mejora a corto y mediano plazo.

- ✓ Para la entrega de pulpas de laboratorio se tuvieron charlas con el personal del mismo con la finalidad de cambiar los empaques en los que se entrega el material, se cambiaron sobres de cartón a plástico con cierres tipo “ziploc”, actualmente dichos empaques se están solicitando para que queden en stock en el almacén, ya que se observó que tienen una mejor resistencia que los de cartón y son más fáciles de manejar. También se solicitó que la entrega de las pulpas se realice en lotes más pequeños, pues entre más de ellas se regresen en un mismo empaque la probabilidad de romperse por el peso generado de unas contra otras es mayor.
- ✓ Para el almacenamiento de pulpas en el área de logueo se propuso un protocolo de almacenamiento temporal (anexo), pues el área de oportunidad a mediano plazo es la construcción de una bodega formal, con estantes bien distribuidos y cajas de cartón que almacenen las pulpas tal como se resguarda en los laboratorios certificados. El protocolo propuesto se lleva a cabo actualmente en forma de prueba.
- ✓ En el caso del XRF Olympus Delta, se encontró en el desarrollo del proyecto y en el análisis de las muestras blancas y de interior mina, que los valores reportados eran menores a lo que los laboratorios reportan, por ello y aprovechando la visita de un agente de ventas de la empresa se planteó esta situación y se acordó generar una calibración adecuada al yacimiento para aproximar los ensayos más a los laboratorios; un resultado con valores menores y erróneos puede ser factor para caracterizar una carga como tepetate y desaprovechar el recurso.

- ✓ Para el seguimiento de los nuevos bancos de blancas se indicó al personal de muestreo los sitios propuestos para la recolección de éstas y se verificó que se tomen de forma adecuada. Se planea alternar la toma de muestras de los distintos bancos, incluido el actual, para evaluar los resultados a corto plazo. Además se enviará un lote con una gran cantidad de muestras blancas a los laboratorios de la unidad Fresnillo donde serán certificadas, mejorando así la confiabilidad de este control.

V.- Conclusiones y recomendaciones

- ❖ Mediante los análisis estadísticos de dispersión y cartas de control realizados a las muestras de control de la unidad se logró mejorar el proceso QA/QC de la misma pues se implementó un nuevo banco de material de blancas en superficie y se prospectó otro en interior mina. Así mismo, se estableció una selección más rápida y económica de las muestras duplicadas en campo para tercerías.
- ❖ Con el proceso de selección, colecta y tercer ensaye de muestras blancas explicado en el apartado de análisis estadístico se logró, además de cumplir con el criterio de tercerías, detectar una problemática menor con las mismas, ocasionada quizá por una mala selección de muestras, o un mal tratamiento en el laboratorio como descartarlas por identificación o contaminación en el proceso de análisis.
- ❖ A través de los métodos propuestos en la sección de “criterios de selección de muestras para tercerías” se pueden seleccionar eficientemente las muestras que deben ser enviadas al laboratorio externo, haciendo óptimo el tiempo y dinero.
- ❖ De acuerdo con lo descrito en el cierre de proyecto, gracias a la charla con el laboratorio de la unidad, así como con el procedimiento propuesto para el almacenamiento de sobrantes aplicado en la colecta de muestras blancas se logró tener un proceso más ordenado y que a futuro proporcione una localización eficiente de los mismos.

- ❖ La recolección de muestras repetidas en campo presenta fallas que se evidencian al tener entre 40 y 50% de ensayos con errores igual o mayor al 20%, ante esto, se debe realizar capacitación teórica-práctica constante al personal de muestreo sobre el procedimiento de muestra repetida en campo, además de realizar verificaciones de su ejecución.
- ❖ El laboratorio de la unidad proporciona un adecuado tratamiento a las muestras de mina enviadas por el departamento de Geología, esto se comprobó con las tercerías, en las cuales se observó que existe muy poca dispersión entre los resultados de éste y un laboratorio certificado como lo es SGS.
- ❖ Existe una desproporción muy notoria entre la cantidad de muestras repetidas en campo para el yacimiento JM comparado con las recolectadas en el área de vetas, en una relación 1 - 99%, por ello se recomienda establecer un procedimiento para incorporar un mayor número de muestras repetidas en el yacimiento JM.
- ❖ El analizador portátil XRF Olympus Delta presenta una pequeña variación respecto a los resultados generados por los laboratorios, estas diferencias pueden estar ligadas a un problema de mantenimiento del equipo, o a que el mismo no fue calibrado con las muestras mineralizadas de la unidad.
- ❖ Se recomienda concientizar al personal de muestreo sobre la importancia de dar un adecuado manejo a las pulpas regresadas por el laboratorio y supervisar periódicamente el estatus del almacenamiento de estas.
- ❖ Se sugiere alternar cada 3 meses aproximadamente los bancos de muestras blancas, con la finalidad de que el laboratorio no detecte este tipo de muestras. Es recomendable realizar verificaciones al personal de muestreo sobre el proceso de recolección de muestras blancas.
- ❖ Es importante explorar nuevos sitios para recolectar muestras blancas en interior mina, y de preferencia utilizar alguna con características litológicas similares al yacimiento JM para los muestreos de este.

Anexos y listado de imágenes, tablas, gráficos y fotografías

ANEXO 1

PROCEDIMIENTO DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE SOBANTES DE LABORATORIO

DEFINICIONES

Muestra: Es una parte o porción de la veta o del cuerpo diseminado JM, que se toma con la finalidad de conocer la calidad y leyes del mineral.

Sobrante: Material pulverizado que se obtienen de recuperar el sobrante de muestras ya analizadas en el laboratorio.

IMPORTANCIA DE LOS SOBANTES

- ✓ Son un respaldo de la muestra original.
- ✓ Permiten realizar un segundo o inclusive un tercer ensaye de la muestra recolectada.
- ✓ ¡SON AUDITABLES!

ALCANCE

Aplica a todo el personal de geología

Los muestreros deben estar capacitados para empaquetar y almacenar de manera adecuada y ordenada las muestras.

Es responsabilidad del geólogo del área supervisar que el almacenaje sea de acuerdo con el proceso, para evitar que las muestras se maltraten y/o contaminen, con la finalidad de que para futuros ensayes la información obtenida sea confiable para el soporte de las leyes de mineral.

Equipo y material

Equipo de protección personal (EPP): Casco de seguridad, zapato de seguridad, lentes de seguridad, guantes, overol de trabajo.

Material: Cajas de archivo tamaño oficio, plumas, marcadores, etiquetas de almacenamiento.

Lista de verificación

- ✓ **Dispositivos de seguridad:** Revisar que el equipo de protección personal esté en óptimas condiciones de uso.
- ✓ **Material:** Verificar que sea suficiente y se encuentre en buenas condiciones de uso, para evitar comprometer la seguridad del almacenaje.

Aspectos de seguridad, salud y medio ambiente

Peligros y Riesgos	Aspectos ambientales	Herramientas y Equipo
<ul style="list-style-type: none">• Machucones• Caídas a nivel• Golpeado por	<ul style="list-style-type: none">• Generación de basura• Desecho de bolsas• Generación de cajas de plástico	<ul style="list-style-type: none">• Cajas de archivo tamaño oficio• Plumas• Marcadores• Etiquetas de almacenamiento• Hoja de registro.
Equipo de Protección Personal	Dispositivos de Seguridad	VARIABLES DE CONTROL
<ul style="list-style-type: none">• Casco de seguridad• Lentes de seguridad• Guantes• Zapatos de seguridad• Overol de trabajo.	<ul style="list-style-type: none">• Extintor en zona de logueo y bodega	<ul style="list-style-type: none">• Estándar de empaquetamiento y almacenaje• Generación de residuos• Material de laboratorio en buena calidad

CONTINGENCIAS Y EMERGENCIAS

Ante una situación de emergencia que pueda ser por accidentes, solicitar ayuda rápida a su jefe inmediato, y proceder al traslado a enfermería para su valoración médica.

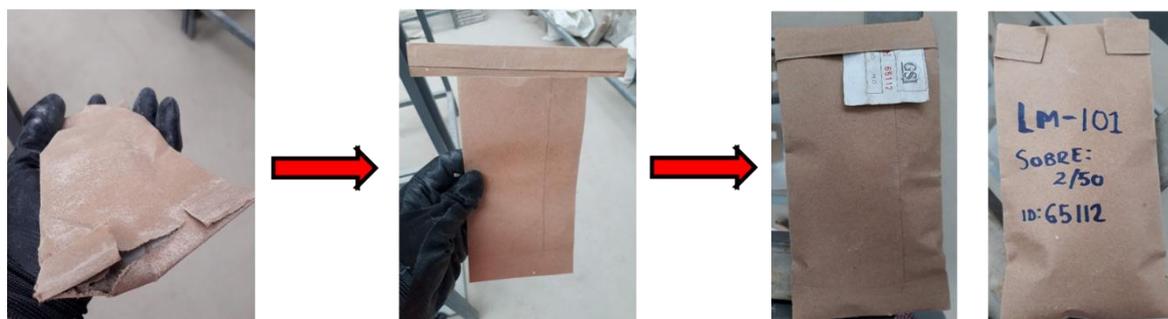
El personal debe estar capacitado y hacer uso de los conocimientos de primeros auxilios para dar la ayuda que corresponda. No mover a los heridos a no ser que exista riesgo inminente, en este caso esperar al personal de cuadrillas de rescate o del médico.

ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS

Cuando se tenga una mala ejecución del presente procedimiento, intencionalmente o por negligencia, será a criterio del facilitador tomando en cuenta la gravedad, realizar la investigación y las acciones que se deben tomar.

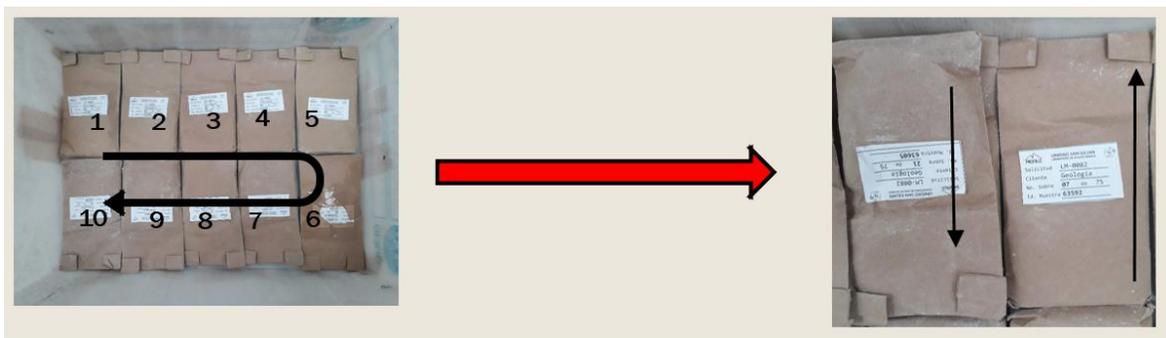
PROCEDIMIENTO DE ALMACENAJE

Verificar el estado en el cual se reciben las muestras del laboratorio; si alguno de los sobres se encuentra deteriorado o roto, este será reemplazado y el contenido de la muestra se pasará a uno completamente nuevo. Deberán colocarse en el nuevo empaque las etiquetas de identificación del sobre dañado, en caso de que no puedan ser colocadas deberá escribirse en la parte frontal con marcador permanente los datos de la muestra.



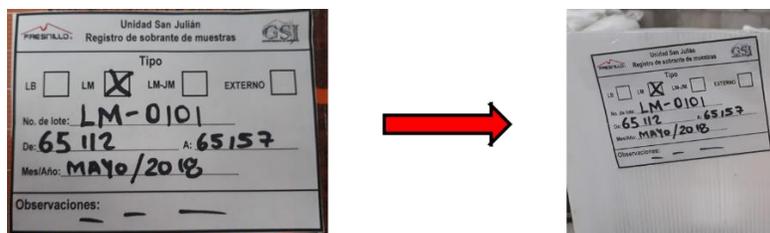
Proceso de reemplazo de sobres dañados.

Colocar de manera cuidadosa cada uno de los sobres en una caja de archivos (previamente reforzada con cinta adhesiva), respetando el siguiente orden: la primera muestra se colocará en la esquina superior izquierda, la segunda a su lado derecho y así sucesivamente en sentido de las manecillas del reloj hasta completar el primer nivel. Para el segundo nivel se distribuirán de la misma forma, pero esta vez el sobre quedará invertido, de este modo se equilibra el apilamiento. Continuar con este proceso hasta guardar todo el lote o en su defecto llegar a la mitad de la capacidad de la caja.



Forma correcta de colocar los sobres dentro de cada caja.

Una vez colocadas todas las muestras en la caja, se deberá llenar la etiqueta de control que se colocará en un lugar visible de la caja, preferentemente en la parte superior de uno de sus costados. La etiqueta deberá contener datos como tipo de envío, número de lote, la primera y última muestra del envío, así como el mes y año en que se almacena. De existir alguna observación se anotará en el recuadro de la parte inferior de la etiqueta.



Etiqueta para el registro de sobrantes de muestras.

Con la finalidad de hacer óptimos los espacios, si un lote no cubre la capacidad máxima de la caja, se deberá colocar un separador (puede ser la propia bolsa de plástico que entrega laboratorio) y sobre éste realizar el apilamiento del siguiente lote, respetando el criterio de distribución. Para la identificación de la caja se colocarán tantas etiquetas como lotes distintos se hayan almacenado en la misma.

Listado de figuras

Figura 1.- Vista satelital de la ruta Hidalgo del Parral- San Julián.....	8
Figura 2.- Columna litoestratigráfica de la unidad San Julián	12
Figura 3.- Base de datos de muestreo con controles QA/QC	18
Figura 4.- Ejemplo de Scatter plot	20
Figura 5.- Ejemplo de Q-Q plot.....	21
Figura 6.- Ejemplo de HARD plot	21
Figura 7.- Ejemplo de HRD plot.....	22
Figura 8.- Ejemplo de carta de control de estándares	23
Figura 9.- Cronograma de actividades.....	25
Figura 10.- Primera y última muestra del primer corte a la base de datos	27
Figura 11.- Reporte de muestreo en la vía La Lagunita – San Julián.	47
Figura 12.- Base de datos con el muestreo capturado y los resultados de laboratorio.	48
Figura 13.- Reporte de muestreo en la zona de María Antonieta.....	49
Figura 14.- Reporte de muestreo, rampa acceso 4 SJ 2440.....	51

Listado de tablas

Tabla 1.- Análisis FODA.....	15
Tabla 2.- Relación de muestras no recuperadas para el primer envío	30
Tabla 3.- Estadística descriptiva para blancas analizadas en laboratorio interno	32
Tabla 4.- Estadística descriptiva para blancas analizadas con el XRF Olympus	33
Tabla 5.- Estadística descriptiva para blancas analizadas en laboratorio externo.	34
Tabla 6.- Estadística descriptiva para blancas. Área de vetas.	52
Tabla 7.- Estadística descriptiva para blancas. Área JM.....	53
Tabla 8.- Capping para oro y plata. Área Vetas.....	54
Tabla 9.- Capping para oro y plata. Zona JM.....	56

Listado de gráficos

Gráfico 1.- Cartas de control de estándar blanco para laboratorio interno	33
Gráfico 2.- Carta de control de estándar blanco para XRF OLYMPUS	34
Gráfico 3.- Cartas de control de estándar blanco para laboratorio externo.	35
Gráfico 4.- Muestra blanca en ensayos de oro. Laboratorio interno vs externo	36
Gráfico 5.- Muestra blanca en ensayos de plata. Laboratorio interno vs externo.	37
Gráfico 6.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en oro. Laboratorio interno.	39
Gráfico 7.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en plata. Laboratorio interno ...	40
Gráfico 8.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en oro. Laboratorio externo. ...	41
Gráfico 9.- Comparativa para ensayos originales y repetidos en plata. Laboratorio externo. .	42
Gráfico 10.- Comparativa entre valores de oro reportados por los laboratorios interno y externo.	43
Gráfico 11.- Comparativa entre valores de plata reportados por los laboratorios interno y externo.	44
Gráfico 12.- Carta de control de estándares. Área de vetas.	53
Gráfico 13.- Carta de control de estándares. Área JM.	53

Gráfico 14.- Histograma Au. Área Vetas.....	55
Gráfico 15.- Histograma Ag. Área Vetas.....	55
Gráfico 16.- Histograma Au. Área JM.....	56
Gráfico 17.- Histograma Ag. Área JM.....	57
Gráfico 18.- Comparativa entre ensaye original y repetido para oro. Laboratorio interno	58
Gráfico 19.- Comparativa entre ensaye original y repetido para plata. Laboratorio interno	59
Gráfico 20.- Comparativa entre ensaye original y repetido para oro sin ensayes con variación >30%.....	60
Gráfico 21.- Comparativa entre ensaye original y repetido para plata sin ensayes con variación >30%.....	61

Listado de fotografías

Fotografía 1.- Estado inicial de la bodega de almacenamiento.....	28
Fotografía 2.- Bodega después de realizar la limpieza	28
Fotografía 3.- Proceso de corrección de sobres dañados.....	29
Fotografía 4.- Análisis con el XRF Olympus Delta y empaquetamiento de tercerías.	31
Fotografía 5.- Muestreo tipo chip.....	46
Fotografía 6.- Muestreo en la zona de María Antonieta.....	49
Fotografía 7.- Rampa acceso 4 SJ 2440	50

Fuentes de información

- Borras Garcia, H. E., Iriarte Balderrama, R., & Fontana de la Cruz, B. (1985). Apuntes de Probabilidad y Estadística. México D.F.: Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garay Taza, E. (2013). QA/QC del muestreo de sondajes diamantinos de la campaña 2012 - Proyecto Palma. Lima.
- MAGRI Consultores Limitada. (05 de Julio de 2018). QA/QC Muestreo y Control de Calidad. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/173645819/012-QA-QC>
- Mangino, J. (1996). Quality Assurance and Quality Control - Chapter 8,» de IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management.
- Matulic Ríos, M. N. (2015). Beneficios económicos asociados a la implementación de la metodología QA/QC en perforación de operación Los Bronces. Memoria, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile.
- Saldivar Morales, D., Moralez Zárate, E. M., Martínez Reyes, J. J., & Vogel González, F. (2017). Geología del Distrito Minero de San Julián, Edo. de Chihuahua. GEOMIMET, 93.
- Unidad San Julián Fresnillo PLC. (2017). Procedimiento de control de calidad en el muestreo de mina subterránea y barrenación a diamante (QA/QC). San Julián.
- Universidad de Valencia. (13 de Agosto de 2018). Datos numericos. Obtenido de <https://www.uv.es/lloano/numericos.htm>